

Petri Sironen

MULTIKOPTEREIDEN TEKNIIKAT SEKÄ SISÄPAIKANNUSJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURI JA JATKOKEHITYS

MULTIKOPTEREIDEN TEKNIIKAT SEKÄ SISÄPAIKANNUSJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURI JA JATKOKEHITYS

Petri Sironen
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Tietotekniikan koulutusohjelma, Langattomat laitteet

Tekijä: Petri Sironen

Opinnäytetyön nimi: Multikoptereiden tekniikat sekä sisäpaikannusjärjestelmän arkkitehtuuri ja jatkokehitys.

Työn ohjaajat: Riitta Rontu, Pekka Alaluukas

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017

Sivumäärä: 66 + 3 liitettä

Tämä opinnäytetyö suoritettiin osaopinnäytetyömallin mukaisesti kolmessa osassa. Opinnäytetyön ensimmäisessä osassa perehdyttiin nopeasti kuluttajamarkkinoille tulleiden miehittämättömien multikoptereiden tekniikkaan ja käyttö-tarkoituksiin. Tekniikan kehitys on mahdollistanut pienten autonomisten kopte-reiden kehittämisen ja ne ovat yleistyneet niin harraste- kuin ammattikäytössä-kin.

Opinnäytetyön toisessa osassa tavoitteena oli selvittää ja dokumentoida Qlu Oy:n kehittämän sulautetun sisäpaikannusjärjestelmän ohjelmiston arkkiteh-tuuri. Koska ohjelmisto on hajautuneena usean laitteen kesken, kokonaisuuden toimintaa on vaikea hahmottaa ilman arkkitehtuuridokumentaatiota. Arkkitehtuu-ridokumentti on oleellisessa osassa järjestelmän jatkokehityksessä ja ylläpi-dossa.

Kolmannessa osassa perehdyttiin 9-akselisen liikeanturimoduulin toimintaan ja pohdittiin, kuinka sitä voidaan hyödyntää Qlu Oy:n sisäpaikannusjärjestel-mässä. Liikeanturille löytyi useita hyödyntämismahdollisuuksia. Sen avulla voi-daan parantaa paikannuksen tarkkuutta eri tilanteissa ja lisätä järjestelmän au-tomaattista toimintaa.

Asiasanat: multikopteri, sisätilapaikannus, ohjelmistoarkkitehtuuri, liikeanturi, inertipaikannus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Information Technology, Wireless devices

Author: Petri Sironen

Title of thesis: Technology of multicopters and indoor positioning system architecture and development.

Supervisor(s): Riitta Rontu, Pekka Alaluukas

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2017

Pages: 66 + 3 appendices

This thesis consists of three parts. The total thesis work was divided in three separate five credit sized parts. The first part was done in spring 2015. The second and the third parts were completed in spring 2017.

The purpose of the first part was to explore the technology and usage of the unmanned multicopters. Multicopters have become very known and widely used devices for hobbyists and companies. The evolution of the technology and electronics has enabled to manufacture these autonomous aircrafts. The first part gave me a good practice for finding an information and combining it from separate sources.

The purpose of the second part was to find out and document the software architecture of the embedded indoor positioning system created by Qlu Inc. Because the software is divided between many devices the total operation of the system is hard to understand without the architecture document. The architecture document gives an important information for the system's maintenance and future development. The second part made me to understand the meaning of documentation in software development and gave me more skills to read and understand the C code.

In the third part the purpose was to explore a 9-axis inertial motion sensor and think how to implement it to the indoor positioning system. There are many ways to benefit the sensor in different situations of positioning. The positioning accuracy and system's automation can be improved by means of the inertial motion sensor. The third part of the thesis gave me a vision of product development and comprehension of inertial motion sensors.

Keywords: multicopter, indoor positioning system, software architecture, inertial motion sensor, inertial positioning

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	6
2 ENSIMMÄISEN OSAN ESITTELY	7
3 TOISEN JA KOLMANNEN OSAN ESITTELY	8
4 YHTEENVETO	9

LIITTEET

Liite 1 Miehitettävien multikoptereiden tekniikka

Liite 2 Sulautetun sisäpaikannusjärjestelmän ohjelmistoarkkitehtuurin dokumentointi

Liite 3 Liikeanturin käyttöönotto ja hyödyntäminen sisäpaikannusjärjestelmässä

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyökokonaisuus suoritettiin tietotekniikan koulutusohjelman osa-opinnäytetyökokeilun mukaisesti. Kolmeosaisen opinnäytetyön teko aloitettiin opintojen toisen lukuvuoden keväällä 2015, jolloin suoritettiin opinnäytetyön ensimmäinen osa. Toinen osa suoritettiin vuoden 2016 aikana ja kolmas osa keväällä 2017.

Työn ensimmäisen osan oli tarkoitus olla tiedonhankinta- ja selvitystyö, jossa tutkitaan jotakin alaan liittyvää opiskelijaa kiinnostavaa aihetta. Työn aiheeksi valikoitui yleistymässä olleiden multikoptereiden tekniikkaan perehtyminen.

Toisena osana tuli olla jokin mahdollisesti yritykseen tehtävä soveltava työ, jossa hyödynnetään opittua. Opinnäytetyön toisen osan aihe löytyi yrityksestä, jonne yritysprojektioinnit suoritettiin. Työn aiheena oli selvittää ja dokumentoida yrityksen kehittämän sisäpaikannusjärjestelmän ohjelmiston arkkitehtuuri.

Opinnäytetyön kolmannen osan oli tarkoitettu olevan yrityslähtöinen työ, jonka aiheen opiskelija määrittelee yrityksen kanssa yrityksen tarpeen mukaan. Työn toimeksiantajana toimi sama yritys, jonne yritysprojektioinnit sekä opinnäytetyön toinen osa suoritettiin. Työn aiheena oli testata liikeanturimoduulia ja arvioida, kuinka sitä voidaan hyödyntää sisäpaikannusjärjestelmässä.

2 ENSIMMÄISEN OSAN ESITTELY

Opinnäytetyökokonaisuuden ensimmäisen osan aihe valikoitui omien harrastusten mukaisten mielenkiinnon kohteiden perusteella. Työn tavoitteena oli tutustua miehittämättömiin multikoptereihin ja niiden tekniikkaan yleisellä tasolla. Työssä käydään läpi multikoptereiden rakennetta, teknisiä ratkaisuja ja sitä, miten ne vaikuttavat kopterin ominaisuuksiin. Kopterin runkorakenteet sekä muut yksittäiset osat käydään läpi ja niiden rooli kopterin toiminnassa selvitetään.

Tekniikan kehittymisen myötä multikopterit ovat tulleet kuluttajamarkkinoille ja niiden määrä sekä harrastus- että yritystoiminnassa on kasvanut räjähdysmäisesti viime vuosien aikana. Multikoptereilla on useita käyttötarkoituksia, mutta selvästi eniten niiden käyttötarkoitus on vakiintunut ilmakuvaukseen.

Multikoptereiden tekniikan tarkempi selvittäminen oli kiinnostavaa, koska ne alkoivat olla yleisinä puheenaiheina ja mediakin käsitteli niitä. Myös aikaisemmat kiinnostukset pienoislamailuun johdattivat aiheen käsittelyyn.

3 TOISEN JA KOLMANNEN OSAN ESITTELY

Opinnäytetyön toisen osan aiheena oli selvittää ja dokumentoida Qlu Oy:n kehittämän sulautetun sisäpaikannusjärjestelmän ohjelmiston arkkitehtuuri. Yrityksellä oli tarve saada ajan tasalla oleva dokumentaatio järjestelmän ohjelmallisesta toiminnasta, jonka dokumentointi edelleen jatkuvan kehityskaaren aikana oli unohtunut lähes täysin. Ohjelmistolle luotiin arkkitehtuuridokumentti, josta käy ilmi ohjelmiston toiminnot ja ominaisuudet sekä niiden jakautuminen eri laitteiden kesken.

Opinnäytetyön kolmannen osan tavoitteena oli testata InvenSense MPU-9255 -liikeanturimoduulia ja pohtia, kuinka sitä voitaisiin hyödyntää opinnäytetyön toisessa osassa käsitellyssä sisäpaikannusjärjestelmässä. Työssä testattiin anturimoduulin ominaisuuksia ja arvioitiin sen käyttömahdollisuutta liikkeentunnistimena ja inertiaipaikantimena.

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyö suoritettiin kolmessa viiden opintopisteen laajuisessa osassa. Opinnäytetyökokonaisuuden jakaminen osiin tuntui mielekkäältä, kun työmäärä jakautui pidemmälle aikavälille ja välissä suoritettiin muita opintoja. Toisaalta osien aiheiden suunnittelu ja rajauksien määrittely lisäsivät pohdittavaa sekä rajoittivat aiheiden valintaa. Omalta osaltani tästä ei aiheutunut ongelmia, koska yrityksellä oli tarjolla pienempiä aihekokonaisuuksia opinnäytetyön toista ja kolmatta osaa varten.

Opinnäytetyön ensimmäinen osa, joka suoritettiin tiedonhakutyönä itsenäisesti, jäi täysin irralliseksi kahdesta seuraavasta osasta, jotka tehtiin projektiointojen kautta löytyneelle yritykselle. Ensimmäistä työtä suunnitellessa onkin lähes mahdotonta arvioida, millaisia aiheita yritykset tulevat tarjoamaan seuraavia osia ajatellen.

Ensimmäinen osa paransi tiedonhaun valmiuksia ja opetti puntaroimaan eri lähteiden sisältämää asiasisältöä. Toisen ja kolmannen osan kanssa työskentely lisäsi ymmärrystä työelämän tarpeista tuotekehityksen ja ylläpidon näkökulmista. Toinen osa kehitti sulautetun C-ohjelmakoodin lukutaitoa sekä ymmärrystä tehdyn työn dokumentoinnin tärkeydestä. Kolmannessa osassa paneuduttiin valmiin laitteiston jatkokehitystyöhön ja uuden tekniikan käyttömahdollisuuksien suunnitteluun.

Kokonaisuudessaan opinnäytetyö antoi tietoa ja valmiuksia siirtyä työelämään ja sen haasteisiin. Kolmeen eri aiheeseen perehtyminen viiden opintopisteen verran jätti jokaisen aiheen laajuuden aika rajalliseksi, mutta aiheet onnistuttiin rajaamaan riittävän hyvin sekä niille asetettuihin tavoitteisiin päästiin. Kaksi ensimmäistä osaa suoritettiin muiden kurssien ja yritysprojektin rinnalla, mikä aiheutti ajoittain päällekkäisten töiden kasautumista. Tämä kehitti kykyä aikatauluttaa päällekkäisiä töitä, mistä on varmasti apua jatkossa.

Petri Sironen

MIEHITTÄMÄTTÖMIEN MULTIKOPTEREIDEN TEKNIikka

MIEHITTÄMÄTTÖMIEN MULTIKOPTEREIDEN TEKNIikka

Petri Sironen
Opinnäytetyö, osa 1
Kevät 2015
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

SISÄLLYS

SISÄLLYS	3
1 JOHDANTO	4
2 MULTIKOPTERI	5
2.1 Koptereiden historiaa	5
2.2 Koptereiden käyttösovelluksia	5
3 MULTIKOPTERIN RAKENNE	7
3.1 Runko	7
3.2 Roottoreiden määrä	7
4 MULTIKOPTERIN TEKNIikka	9
4.1 Moottorit	9
4.2 Nopeudensäätimet	10
4.3 Lento-ohjain	10
4.4 Potkurit	12
4.5 Akku	13
5 MULTIKOPTERIN OHJAUS	15
6 POHDINTA	16
LÄHTEET	17

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on perehtyä moniroottoristen miehittämättömien helikoptereiden tekniikoihin ja ominaisuuksiin sekä niiden käyttömahdollisuuksiin erilaisissa tilanteissa. Tavoitteena on selvittää kuinka rakenteellisesti ja teknisesti erilaisten koptereiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan.

Koptereissa käytettävä tekniikka on kehittynyt hurjaa vauhtia ja on nykyisin kaikkien saatavilla. Laitteille on keksitty useita hyödyllisiä käyttökohteita laajentuneen harrastustoiminnan ohessa. Hyötykäyttöön tarkoitettujen koptereiden rakenne ja tekniikka täytyy valita siten, että niiden ominaisuudet vastaavat parhaiten käyttökohteen tarpeita.

2 MULTIKOPTERI

Multikopteri on yleisnimitys helikopterille, joka perinteisistä yksi- ja kaksiroottorisista helikoptereista poiketen toimii useammalla kuin kahdella roottorilla. Multikopterin roottorit ovat yleensä kiinteät, eikä lapakulmia muuteta lennon aikana, kuten tavallisessa helikopterissa. Multikopterin ohjaus perustuu siis roottoreiden kierroslukujen muutokseen.

2.1 Koptereiden historiaa

Ensimmäiset pystysuoraan nousseet helikopterit olivat neljäroottorisia quadkoptereita. Tällöin luonnollisin ratkaisu ylöspäin nousemiselle ajateltiin olevan usean roottorin käyttö. Vuonna 1907 ranskalaiset Breguetin veljekset nousivat ilmaan rakentamallaan quadkopterilla. Myöhemmin vuonna 1924 ranskalainen insinööri Étienne Oehmichen onnistui lentämään rakentamallaan quadkopterilla jo lyhyitä matkoja. (1.)

Ennen tietokoneiden ja elektroniikan kehitystä multikopterin tasaiseen lentoon tarvittavaa tasapainotusta oli mahdoton toteuttaa. Multikoptereiden kehitys pysähtyi niiden teknisten haasteiden vuoksi, ja yksiroottoristen helikoptereiden kehitys alkoi. Vasta viimeisen vuosikymmenen aikana elektroniikan ja sähkömoottoreiden kehitys on mahdollistanut vakaasti lentävän miehittämättömän multikopterin kehittymisen ja käytön useissa tilanteissa. (1.)

2.2 Koptereiden käyttösovelluksia

Multikoptereiden yleisin käyttökohde on ilmakehu. Aiemmin ilmakehuksessa käytettiin miehitettyjä helikoptereita, joiden kustannukset olivat suuria. Nykyinen tekniikka mahdollistaa vakaan kuvan saamisen ja kopterit voidaan suunnitella kantamaan raskaitakin kameroita ja lisälaitteita. Kuvauskoptereita käytetään yhä enemmän apuna etsintä- ja pelastustehtävissä sekä onnettomuuspaikkojen tiedustelussa antamaan laajaa reaaliaikaista tilannekuvaa. Niiden avulla voidaan suunnitella toimintaa ratkaisevasti ja reagoida tilannemuutoksiin nopeasti.

Tekniikoiden kehittyessä on huomattu mahdollisuus multikopterin hyödyntämiseen myös tavarantoimituksessa. Yhdysvaltalainen verkkokauppa Amazon on saanut alkuvuodesta viranomaisilta luvan testata miehittämättömiä koptereita tavarantoimitukseen (2). Myös saksalainen kuljetusyhtiö DHL käyttää pienimuotoisesti multikoptereita tavaroiden kuljettamiseen Saksan rannikolla sijaitsevalle Juist-saarelle (3).

3 MULTIKOPTERIN RAKENNE

3.1 Runko

Multikopterin kaikki tekniikka rakentuu rungon ympärille. Erilaisia runkoja on tarjolla kattavasti alan kaupoissa, mutta sopivan rungon voi myös rakentaa itse haluamistaan materiaaleista. Runkotyyppiä valittaessa on otettava huomioon kopterin käyttökohde, kopteriin sijoitettavat lisälaitteet sekä tarvittava roottoreiden määrä.

Rungon tulisi olla mahdollisimman kevyt ja riittävän jäykkä. Tällöin kopterin maksimi hyötykuorma (tarpeellisten lisälaitteiden massa, jonka kopteri pystyy nostamaan lento-ominaisuuksia heikentämättä) pysyy mahdollisimman suurena. Yleisesti käytettyjä runkomateriaaleja ovat erilaiset muovit, lasi- ja hiilikuitu sekä alumiini.

3.2 Roottoreiden määrä

Tässä multikopterin roottorilla tarkoitetaan moottorin ja potkurin yhdistelmää. Yleisimpiä multikopterimalleja ovat 3-roottorinen trikopteri, 4-roottorinen quadkopteri, 6-roottorinen hexakopteri sekä 8-roottorinen octokopteri. Multikopterin roottoreiden määrä vaikuttaa kopterin nostovoimaan. (4; 5.) On kuitenkin mahdollista saavuttaa samansuuruinen nostovoima pienemmällä määrällä tehokkaampia moottoreita tai suuremmalla määrällä pienempitehoisia moottoreita.

Roottorimäärän valinta on usein kompromissi ja siihen vaikuttavat kopterilta halutut ominaisuudet sekä hinta. Jokainen roottori tarvitsee aisan, jolla roottori kiinnittyy runkoon sekä oman nopeudensäätimen. Tällöin useamman roottorin käyttö lisää kopterin painoa. Massa on kuitenkin usein haluttua, kun kopteria käytetään ilmakuvaukseen. Painavan ja useampi-roottorisen kopterin lento on vakaampaa, eikä tuuli aiheuta siihen värinää tai vaappumista yhtä helposti kuin kevyeen kopteriin.

Kun kopterilla on tarkoitus nostaa suuria kuormia, hexa- ja octokopteri ovat siihen soveltuvimpia. Näillä koptereilla on myös etuna se, että vaikka yksi roottori

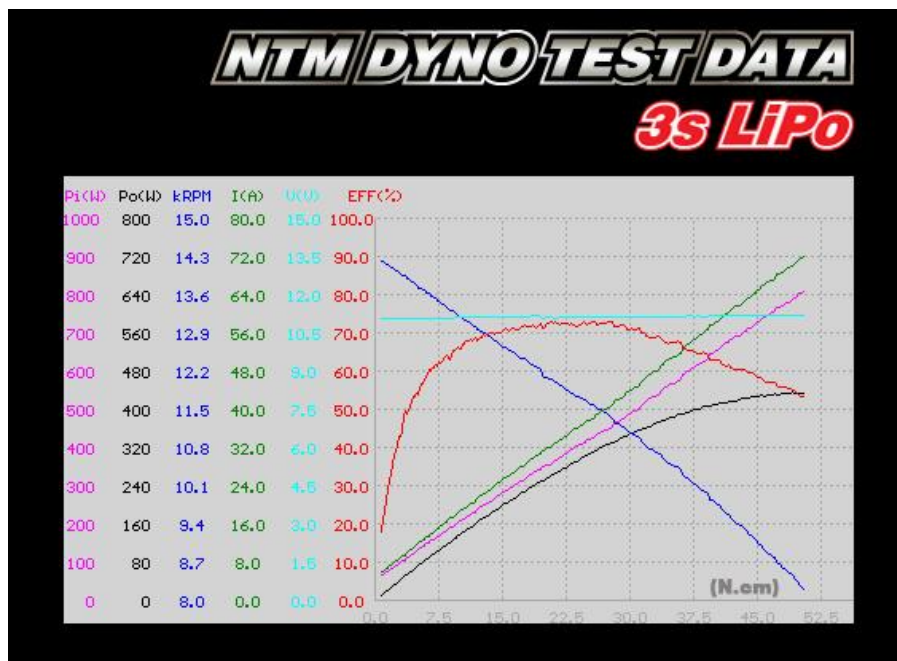
hajoaisikin lennon aikana niiden on mahdollista laskeutua hallitusti, koska vieriset roottorit ovat lähellä ja voivat paikata rikkoutuneen roottorin, jos lento-ohjaimen ominaisuudet sen mahdollistavat.

4 MULTIKOPTERIN TEKNIikka

4.1 Moottorit

Multikoptereissa käytetään hiiliharjattomia tasavirtamoottoreita. Harjattomilla moottoreilla on korkea hyötysuhde (jopa 90 %), eikä niissä ole muita kuluvia osia kuin laakerit. Harjattomat moottorit vaativat moottorinohjaukselta 3-vaiheisen kommutoinnin, joka hiiliharjallisessa moottorissa on hiiliharjojen tehtävä (6, s.12).

Yleissääntönä moottoreiden valinnassa on, että niiden tulisi tuottaa kaksi kertaa kopterin kokonaispainon verran nostovoimaa. Tällöin kopteri on hyvin hallittavissa huonoissakin olosuhteissa. (7.) Moottoreiden valinnassa tärkeitä ominaisuuksia ovat paino, teho, käyttöjännite, kv-arvo ja hyötysuhde. Tarpeettoman isot ja tehokkaat moottorit lisäävät kopterin painoa ja huonontavat lento-ominaisuuksia. Moottoreiden tehonkesto tulee kuitenkin mitoittaa niin, ettei moottori aivan saavuta, eikä varsinkaan ylitä suurinta tehonkestoä edes täydellä nousuteholla. Harjattoman moottorin hyötysuhde huononee lähestyessään maksimitehoaan. (Kuva 1.)



KUVA 1. Erään harjattoman moottorin hyötysuhteen käyttäytyminen (punainen käyrä) (8).

Moottoreiden kv-arvo kertoo moottorin kierrosluvun yhden voltin jännitteellä. Esimerkiksi 1200kv-moottorin kierroskulu 12 V:n jännitteellä on 14400 kierrosta minuutissa. Moottorin kierrosluku lasketaan kaavalla 1. (9.)

Moottorin kierrosluku = KV · käyttöjännite

KAAVA 1

4.2 Nopeudensäätimet

Jokainen kopterin moottori tarvitsee harjattomalle moottorille tarkoitetun nopeudensäätimen moottorin ohjaukseen. Nopeudensäädin hoitaa moottorin 3-vaiheisen kommutoinnin eli vaiheiden kytkemisen päälle ja pois. Moottorin pyöriessä vuorollaan yksi kolmesta vaiheesta ei ole kytkettynä. Kytkemättömään vaiheeseen indusoituu jännite, jonka mukaan nopeudensäädin ajoittaa kommutoinnin. (6, s. 12–13.) Näin nopeudensäädin säätelee tarkasti moottorin kierroslukua. Multikopterissa nopeudensäätimet kytketään lento-ohjaimeen, joka ohjaa nopeudensäätimä pwm-signaalien avulla.

Multikopterin nopeudensäätimet tulee valita siten, että niiden ominaisuudet täsmäävät käytettävän akun jännitteeseen ja että niiden virrankesto on riittävä. Moottoreille on yleensä ilmoitettu niiden ottama maksimivirta, ja nopeudensäädin tulee mitoittaa jopa hieman yli tämän. Kuitenkin tehokkaampi nopeudensäädin myös painaa enemmän, joten suurta ylimitoitusta tulee välttää. Tämä on vaikeava tekijä varsinkin 6- ja 8-roottorisissa multikoptereissa. Markkinoilla on myös erityisesti multikoptereille tarkoitettuja nopeudensäätimä, jotka reagoivat tavallista nopeammin lento-ohjaimen ohjaussignaaliin. Tämä lisää moottoreiden kierrosluvun muutosnopeutta ja saa kopterin lentämään tasaisemmin ja reagoimaan ohjaukseen paremmin.

4.3 Lento-ohjain

Lento-ohjain on multikopterin keskusyksikkö, joka on kopterin lentämisen kannalta tärkein osa. Lento-ohjaimen tehtävä on säädellä moottoreiden kierroslukuja anturitietojen ja ohjauskomentojen perusteella. Kopterin kallistamiseksi ohjain laskee kallistumissuunnan puoleisten moottoreiden tehoa ja lisää vastakkaisten moottoreiden tehoa. Kääntymiseen horisontaalisesti ohjain muuttaa vas-

takkaisiin suuntiin pyörivien moottoreiden kierroslukujen suhdetta. Poikkeuksena trikopteri, jossa on pariton määrä roottoreita. Trikopterin peräroottorin on oltava sivusuunnassa kallistettava, jotta kopteria voidaan ohjata horisontaalisesti.

Normaaliin vakautukseen lento-ohjain tavallisesti käyttää kolmeakselista gyro-skooppiä ja kiihtyvyysanturia, jotka tarkkailevat kopterin asentoa pituus-, leveys- ja pystyakselin suunnissa. Tämän avulla ohjain reagoi tarkasti asennonmuutoksiin. Kiihtyvyysanturi mahdollistaa myös automaattisen vakautus (self-level tai auto-level) -ominaisuuden lento-ohjaimessa. Tällä ominaisuudella kopteri pysyy vaaka-asennossa ulkoisista tekijöistä huolimatta, kuten tuulesta. (10.) Muita tyyppillisiä antureita ovat korkeutta mittaava barometri eli paineanturi ja maan magneettikentän suuntaa ja voimakkuutta mittaava magnetometri eli kompassi. Barometrillä voidaan hallita kopterin korkeutta ja magnetometrillä horisontaalista asentoa. (11.) Lento-ohjaimia on saatavilla hyvin monen hintaisia ja eri ominaisuuksilla varustettuja käyttötärpeesta riippuen.

Lento-ohjaimen toiminta perustuu PID (proportional-integral-derivate) -säätimiin. PID-säädin muodostuu P-, I- ja D-termien algoritmista, jossa säätimen syötön ja kopterin sensoreiden erosuuretta käsitellään. Toisin sanoen verrataan kopterin nykyistä asentoa haluttuun asentoon. P-termi on erosuureen verrannollinen termi. I-termi integroi ja D-termi derivoi erosuuretta ajan suhteen (kaava 2). (12.)

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de}{dt} \quad \text{KAAVA 2}$$

Lento-ohjaimissa on oma PID-säädin pituus-, poikittais- ja pystyakselille. Ohjaimen PID-säätöä tehtäessä ohjaimesta säädetään P-, I- ja D-arvoja, jotka ovat kaavan K_p -, K_i - ja K_d -kertoimia. Säädöt ovat kopterikohtaisia ja riippuvaisia kopterin tyypistä, osista sekä sen halutuista lento-ominaisuuksista.

Tärkein termi on P-termi. Se määrittää ohjauskomentojen ja gyroskooppien asentotietojen välistä tärkeyttä. Liian suurella P-arvolla ohjain pyrkii korjaamaan asennonmuutoksia liian herkästi ja saa kopterin värisemään edestakaisin. Liian pienellä P-arvolla ohjain taas ei reagoi asennonmuutoksiin tarpeeksi, jolloin kopteri on epätarkka ja vaikeasti hallittavissa. (12.)

I-termi määrittää ohjaimen asennonmuistikyvyn. Sen avulla ohjain pyrkii palauttamaan kopterin aikaisempaan asentoonsa. Tämä vaikuttaa kopterin asennonmuutosten terävyyteen. Suurella I-arvolla kopteri reagoi ohjaukseen laiskasti ja voi alkaa heilahdella liian suuren P-arvon tavoin, mutta hitaammin. Pienellä I-arvolla kopteri noudattaa ohjausliikkeitä terävästi ja lennosta tulee kulmikasta. (12.)

D-termi toimii tehostimena halutun asennon saavuttamiselle. Se tehostaa ohjauskomentoja sitä enemmän, mitä suurempi asennonpoikkeama on haluttuun asentoon. D-termillä voidaan enemmänkin hienosäätää kopterin liikehdintää, eikä sen säätäminen oletusarvostaan ole usein tarpeellista. Kaikissa lento-ohjaimissa ei edes ole D-termin säätömahdollisuutta. (12.)

4.4 Potkurit

Multikoptereissa käytetään yleensä kiinteitä kaksilapaisia potkureita. Potkureiden halkaisijat ja lapakulman jyrkkyydet ilmoitetaan tuumina. Potkurin lavan jyrkkyys kertoo, kuinka paljon potkuri teoriassa etenee ilmassa yhden pyörähdysten aikana. Esimerkiksi 10x5 merkinnällä oleva potkuri on halkaisijaltaan 10" ja etenee 5" yhden pyörähdysten aikana. (7.)

Multikopterin roottoreista puolet pyörivät myötäpäivään ja puolet vastapäivään, jolloin ne kompensoivat toistensa aiheuttamat vääntömomentit ja mahdollistavat kopterin kääntämisen horisontaalisesti. Eri suuntiin pyörivien roottoreiden vuoksi multikopteri tarvitsee sekä myötä-, että vastapäivään pyöriviä potkureita. Muutoin potkureiden tulee olla keskenään samanlaisia ja samankokoisia.

Käytettävät potkurit ovat yleensä joko muovisia, hiilikuituisia tai puisia. Multikopterissa kannattaa käyttää erityisesti multikoptereille suunniteltuja potkureita, mutta niissä voidaan myös käyttää mitä tahansa sähkölennokin potkuria, kunhan se on tarpeeksi jäykkä ja hyvin tasapainotettu. Markkinoilla on valtava määrä erimallisia potkureita lukuisilta eri valmistajilta. Täsmälleen samankokoisten, mutta erimallisten potkureiden nostovoimat ja tehonkulutukset voivat poiketa huomattavasti toisistaan, mikä tekee potkureiden valinnasta monimutkaisempaa.

Potkurin valintaan vaikuttavat käytettävät moottorit, sekä akun kennomäärä eli käyttöjännite. Käyttötarpeeseen soveltuvin potkuri löytyy usein kokeilemalla ja vertaamalla potkureiden nostovoimaa ja tehonkulutusta. Suuremmalla lapakulmalla oleva potkuri antaa lisää nostovoimaa, mutta kuluttaa myös enemmän tehoa. Loivempikulmainen potkuri pyörii kevyemmin ja antaa staattista vääntöä sekä lisää ohjauksen tarkkuutta. Pidemmän potkurin hyötysuhde on lyhyttä parempi suuremman ilmaa siirtävän pinta-alan takia. Lyhyempi ja kevyempi potkuri puolestaan kiihtyy ja hidastuu nopeammin, mikä lisää ohjauksen herkkyyttä.

(7.)

4.5 Akku

Multikoptereissa käytetään LiPo (Lithium Polymeer) -akkuja niiden keveyden ja suuren virranantokyvyn takia. Yhden LiPo-kennon nimellisjännite on 3,7 V ja täyteen ladattuna noin 4,2 V. Akkujen ilmoitetut jännitteet tarkoittavat akkujen nimellisjännitteitä. Esimerkiksi kolmekennoisen (3s) LiPo-akun jännitteeksi ilmoitetaan 11,1 V. LiPo-akun lataus- ja purkuvirrankesto ilmoitetaan C-arvoina. Akun lataus- ja purkuvirrankesto saadaan kertomalla akun kapasiteetti akun kyseisellä C-arvolla kaavan 3 mukaisesti (13). Esimerkiksi kapasiteetiltaan 2200 mAh eli 2,2 Ah, purkuarvoltaan 20C ja latausarvoltaan 2C olevan akun purkuvirrankesto on 44 A ja latausvirrankesto 4,4 A. Usein akuissa on ilmoitettu erikseen C-arvot jatkuvalla sekä hetkelliselle purkuvirrankestoille.

$$\text{Virrankesto} = C \cdot \text{kapasiteetti}$$

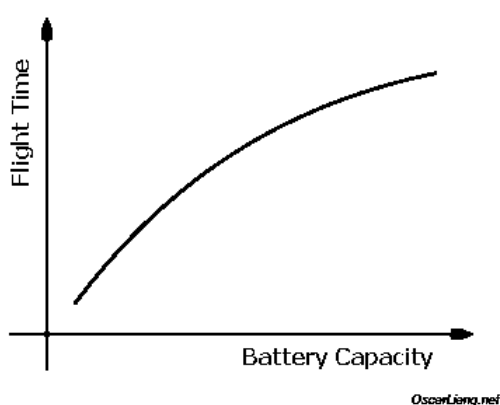
KAAVA 3

LiPo-akku vaatii erityisesti akkutyypille tarkoitetun laturin. Vääränlaisella laturilla ladattaessa akku voi vaurioitua ja pahimmassa tapauksessa syttyä tuleen. Vahinkoa voi saada aikaan myös LiPo-laturilla, jos akkua ladataan liian suurella virralla tai jännitteellä, esimerkiksi kolmekennoista akkua ladataan neljän kennon asetuksella. LiPo-akkua ei tulisi myöskään purkaa alle 3,0 V:n kennojännitteeseen. Tällöin akun sisäinen resistanssi kasvaa ja sen teho sekä käyttöikä laskevat.

Multikopterin akun valintaan vaikuttavat kopterin koko, käyttötarkoitus ja käytettävät moottorit. Akun kennomäärä täytyy valita moottoreiden käyttöjännitteen

sekä kv-arvon mukaan. Suuremmalla jännitteellä moottoreiden maksimiteho ja -kierrosluku ovat suurempia, mutta potkureista riippuen liian suurella kuormalla moottoreiden tehonkesto voi ylittyä. Akku, moottorit ja potkurit tuleekin valita aina toisensa huomioon ottaen.

Akun kapasiteetti vaikuttaa kopterin lentoaikaan ja painoon. Kuitenkaan akun kapasiteettia kasvattamalla lentoaika ei kasva loputtomiin kapasiteetin tuoman lisäpainon takia. Painon kasvaessa myös moottoreiden tehonkulutus kasvaa. (Kuva 2.) (13.)



KUVA 2. (13.)

Akkua ei kannata hirveästi ylimitoitaa myöskään C-arvon suhteen, koska suuremman purkuvirran kestävät kennot maksavat ja painavat enemmän. Kuitenkin akun käyttäminen jatkuvasti tehorajoillaan lyhentää akun käyttöikää. Multikopterin akun valinta on usein tilannekohtainen kompromissi ja kuhunkin tilanteeseen sopivimman kokoinen akku löytyy kokeilemalla.

5 MULTIKOPTERIN OHJAUS

Multikoptereita ohjataan yleensä muiden lennokkien ja helikoptereiden tavoin perinteisesti radio-ohjaimella lennättäjän suorassa näköyhteydessä. Radio-ohjaimelta ja vastaanottimelta vaaditaan vähintään neljä kanavaa normaaliin ohjaamiseen. Yksi kallistamiseen sivusuunnassa (roll), toinen pituussuunnassa (pitch), kolmas kääntämiseen vaakatasossa (yaw) ja neljäs moottoreiden tehon säätämiseen (throttle). Lisäkanavilla lennättäjän on mahdollisuus kontrolloida mahdollisia lento-ohjaimen ominaisuuksia, kuten vaihtaa etukäteen määritettyjen lento- ja ohjaustilojen välillä.

Manuaalisen radio-ohjauksen lisäksi multikoptereissa voidaan käyttää automaattiohjausta, joka perustuu GPS-paikannuksen ja muiden kopterin tilaa tarkkailevien antureiden yhteistoimintaan. GPS:n avulla kopteri voidaan ohjelmoida lentämään autonomisesti ennalta määritettyä reittiä halutulla korkeudella. Tähän lento-ohjain tarvitsee GPS-moduulin lisäksi kompassin ja barometrin suunnan ja korkeuden hallintaan. Ohjauslaitteistoista riippuen autonomista lentoreittiä voidaan myös määrittää reaaliajassa maa-asemalta erillisen telemetriayhteyden välityksellä. Tällöin on myös mahdollista seurata maa-asemalta kopterin anturitietoja, kuten akun jännitettä.

6 POHDINTA

Multikoptereissa käytettävien osien valikoima on todella laaja, ja erilaisia yhdistelmiä on miltei rajattomasti. Ihanteellisen kokoonpanon valinta pelkän käyttötarkoituksen perusteella on vaikeaa, varsinkin jos kriteerit ominaisuuksille ovat tarkat. Soveltuvimman kokoonpanon löytämiseksi voi joutua testaamaan erilaisia yhdistelmiä. Kopteria suunniteltaessa on kuitenkin tärkeää tietää, millaiseen käyttöön kopteri tulee.

Rungon koko ja roottoreiden määrä vaikuttavat kopterin liikehdintään ja runkoon mahtuvien lisälaitteiden määrään sekä massaan. Pienemmät ja kevyemmät tri- ja quadkopterit ovat nopealiikkeisiä ja sopivat hyvin monenlaiseen hupilennätykseen. Suuremmat ja tehokkaammat kopterit ovat vakaampia ja niitä käytetään usein kuvaamiseen tai muuhun hyötykäyttöön.

Erilaisilla potkureilla sekä eritehoisilla ja -kierroslukuisilla moottoreilla voidaan vaikuttaa kopterin nostovoimaan, käyttäytymiseen ja hyötysuhteeseen. Lento-ohjaimen ominaisuudet ja lisälaitteet antavat uusia lähestymiskohtia perinteiselle kopterin ohjaamiselle. Lisälaitteiden avulla kopterin lentoa voidaan vakauttaa ja automatisoida. Pelkkä lento-ohjainkin vaikuttaa usein lento-ominaisuuksiin ja vakauteen. Hyvin halvoilla ja yksinkertaisilla ohjaimilla pelkkä kopterin ilmassa pitäminen voi olla haastavaa ja vaatii lennättäjältä paljon taitoa ja tarkkuutta.

LÄHTEET

1. History of quadcopters and other multirotors. Krossblade Aerospace Systems LLC. Saatavissa: <http://www.krossblade.com/history-of-quadcopters-and-multirotors>. Hakupäivä 26.4.2015.
2. Amazon sai luvan testata lennokkeja jakelutoiminnassa. 2015. Savon sanomat 20.3.2015. Saatavissa: <http://www.savonsanomat.fi/uutiset/kulttuuri/amazon-sai-luvan-testata-lennokkeja-jakelutoiminnassa/2009379>. Hakupäivä 26.4.2015.
3. DHL parcelcopter launches initial operations for research purposes. 2014. DHL Group 24.9.2014. Saatavissa: http://www.dhl.com/en/press/releases/releases_2014/group/dhl_parcelcopter_launches_initial_operations_for_research_purposes.html. Hakupäivä 26.4.2015.
4. Multicopter types. 2014. MultiWii. Saatavissa: http://www.multiwii.com/wiki/index.php?title=Multicopter_Types. Hakupäivä 26.4.2015.
5. Liang, Oscar 2013. Types of Multicopter. Saatavissa: <http://blog.oscarliang.net/types-of-multicopter>. Hakupäivä 26.4.2015.
6. Sirkiä, Jussi 2006. Harjattomien tasavirtamoottoreiden ohjain lennokki-käyttöön. Diplomityö. Espoo: Teknillinen korkeakoulu, sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto. Saatavissa: <https://aalto-doc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/952/urn007532.pdf?sequence=1>. Hakupäivä 26.4.2015.
7. Liang, Oscar 2013. How to choose Motor and Propeller for Quadcopter and Multicopter. Saatavissa: <http://blog.oscarliang.net/how-to-choose-motor-and-propeller-for-quadcopter>. Hakupäivä 26.4.2015.

8. NTM Prop Drive Series 35-42A 1250Kv 600W. HobbyKing. Saatavissa: http://www.hobbyking.com/hobbyking/store/_16092_NTM_Prop_Drive_Series_35_42A_1250Kv_600W.html. Hakupäivä 26.4.2015.
9. All About Brushless Motors - What You Need To Know. 2009. Draganfly Innovations Inc. Saatavissa: <http://www.rctoy.com/pr/2009/05/25/all-about-brushless-motors-what-you-need-to-know>. Hakupäivä 26.4.2015.
10. Flight Control Sensors and Calibration. Saatavissa: <https://sites.google.com/site/mkokto2/flight-control-sensors-and-calibration>. Hakupäivä 26.4.2015.
11. Quadcopter Control-Function Layers. 2012. Diy Drones. Saatavissa: <http://diydrones.com/forum/topics/quadcopter-control-function-layers>. Hakupäivä 26.4.2015.
12. Liang, Oscar 2013. Quadcopter PID Explained and Tuning. Saatavissa: <http://blog.oscarliang.net/quadcopter-pid-explained-tuning>. Hakupäivä 26.4.2015.
13. Liang, Oscar 2014. How to choose battery for Quadcopter, Tricopter and Hexacopter. Saatavissa: <http://blog.oscarliang.net/how-to-choose-battery-for-quadcopter-multicopter>. Hakupäivä 26.4.2015.

Petri Sironen

SULAUTETUN SISÄPAIKANNUSJÄRJESTELMÄN OHJELMIS- TOARKKITEHTUURIN DOKUMENTOINTI

SULAUTETUN SISÄPAIKANNUSJÄRJESTELMÄN OHJELMIS- TOARKKITEHTUURIN DOKUMENTOINTI

Petri Sironen
Opinnäytetyö, osa 2
Kevät 2017
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

ALKULAUSE

Haluan kiittää tämän opinnäytetyöaiheen tarjoajaa oululaista Qlu Oy:tä ja yrityksen puolesta ohjaajana ja auttavana kätenä toiminutta tuotekehitysinsinööri Juha Saarimaata. Lisäksi haluan kiittää Oulun ammattikorkeakoulun ohjaavana opettajana toiminutta Pekka Alaluukasta sekä kielenohjaajana toiminutta Tuula Hopeavuorta.

Oulussa 30.1.2017

Petri Sironen

SISÄLLYS

ALKULAUSE	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 OHJELMISTOARKKITEHTUUREISTA	6
2.1 Ohjelmistoarkkitehtuurin määritelmä	6
2.2 Ohjelmistoarkkitehtuurin dokumentointi	6
2.3 Arkkitehtuurikuvauksen näkökulmat	7
3 PAIKANNUSJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURI	8
3.1 Paikannusjärjestelmä	8
3.2 Moduulien toiminnot	9
3.3 Ohjelmiston rakenne	10
3.3.1 Tehtävät	10
3.3.2 Keskeytykset	12
3.3.3 Reititystaulukko	14
4 YHTEENVETO	15
LÄHTEET	16
LIITTEET	17

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön toisen osan aiheena on selvittää ja dokumentoida kehitysvaiheessa olevalle sulautetulle sovellukselle ohjelmistoarkkitehtuuri. Arkkitehtuuri dokumentoidaan sovelluksen kehittäjien näkökulmasta ja sen tavoitteena on helpottaa järjestelmän ylläpitoa ja jatkokehitystä. Laitteiston ohjelmisto on kehitysvaiheelle tyypillisessä epäoptimaalisesti ositetussa ja rakenteeltaan sekavassa muodossa, eikä ohjelmiston toimintaa ole dokumentoitu. Näin ollen muiden kuin tähänastisen kehittäjän on vaikea jatkaa ohjelmiston kehitystä ja testausta.

Työssä käydään läpi laitteiston ja ohjelmiston rakenne sekä toiminnot, ja näin luodaan ohjelmistolle selkeä, helposti ylläpidettävä ja tehokkaamman jatkokehityksen mahdollistava arkkitehtuurikuvaus. Arkkitehtuurirakenne dokumentoidaan ohjelmistodokumentaation käytäntöjä noudattaen.

2 OHJELMISTOARKKITEHTUUREISTA

Ohjelmistoarkkitehtuurit ovat saaneet merkittävän roolin nykyaikaisessa ohjelmistokehityksessä ohjelmistojen valtavan koon ja monimutkaisuuden vuoksi. Dokumentoitu ohjelmistoarkkitehtuuri helpottaa ohjelmiston kehitysvaiheen sekä myöhemmän ylläpidon hallintaa muodostaessaan kokonaiskuvan kehitettävästä ohjelmistosta. Se voidaan ajatella rakennuksen pohjapiirroksena, josta ilmenee jokaisen yksittäisen huoneen perusrakenne, käyttötarkoitus ja kulkureitit muihin huoneisiin.

2.1 Ohjelmistoarkkitehtuurin määritelmä

Vaikka ohjelmistoarkkitehtuureille on esitetty erilaisia määritelmiä, niille yhteinen perusmääritelmä on, että se jakaa ohjelmiston osiin ja esittää osien väliset vuorovaikutukset. Koska vuorovaikutukset liittyvät usein ajonaikaiseen toimintaan, arkkitehtuuri käsittelee rakenteen lisäksi myös ohjelmiston käyttäytymistä.

(1, s. 18–19.)

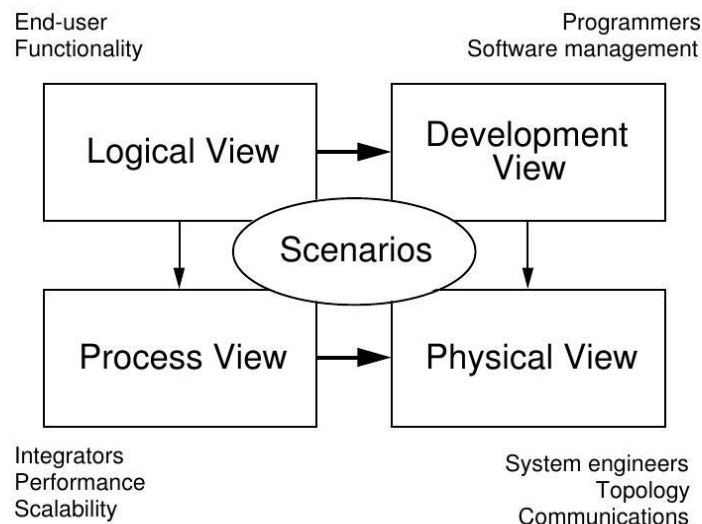
Arkkitehtuurin voidaan ajatella olevan koko järjestelmän perustuslaki, jota noudatetaan järjestelmää kehitettäessä ja ylläpidettäessä. Sitä ei tulisi muuttaa kuin erittäin tarpeellisista syistä. Arkkitehtuuri siis asettaa rajat, kuinka järjestelmää tulisi kehittää ja ylläpitää koko sen elinkaaren ajan. (1, s. 18–19.)

2.2 Ohjelmistoarkkitehtuurin dokumentointi

Ohjelmistoarkkitehtuurin dokumentaatio eli arkkitehtuurikuvaus toimii punaisena lankana ohjelmiston kanssa toimivien henkilöiden välisessä kommunikaatiossa. Se tuo esiin ohjelmiston keskeiset ratkaisut, käsitteet ja sanaston, joista voidaan puhua. Dokumentaation on syytä olla selkeä ja yksiselitteinen, jotta sille ei jää tulkinnan varaa. Voidaan myös ajatella, että dokumentoimatonta arkkitehtuuria ei ole edes olemassa, koska tällöin ohjelmiston rakenteesta saatetaan tehdä hyvin erilaisia olettamuksia. (1, s. 20.)

2.3 Arkkitehtuurikuvauksen näkökulmat

Arkkitehtuurikuvaus on hyvin keskeinen dokumentti, joka konkretisoi abstraktin arkkitehtuurikäsitteen. Arkkitehtuuria voidaan tarkastella eri näkökulmista sen mukaan, mille ohjelmistoon liittyvästä sidosryhmästä kuvaus kohdistuu. Esi-merkkinä on Kruchtenin 4 + 1 -malli (kuva 1).



KUVA 1. Kruchtenin 4 + 1 -malli (2)

4 + 1 -mallin **skenaarionäkymä** kuvaa, kuinka järjestelmä on vuorovaikutuksessa ulkopuolisiin käyttäjiin ja järjestelmiin. **Looginen näkymä** kuvaa toimintojen ja vastuiden jakautumisen järjestelmän komponenttien kesken. Looginen näkymä avaa skenaarionäkymän toiminnot ja kuvaa, kuinka ne saadaan aikaan. **Prosessinäkymä** kuvaa toimintojen jakautumisen loogisiin prosesseihin sekä niiden välisen kommunikaation. Se on olennainen kuvaus rinnakkaisille ja hajautetuille järjestelmille. **Kehitysnäkymä** kuvaa, kuinka järjestelmä jakautuu omina kokonaisuuksina toteutettaviin osiin. Kehitysnäkymä auttaa suurten ohjelmistojen suunnittelussa ja hallinnassa. **Fyysinen näkymä** kuvaa, millaisiin fyysisiin laiteyksiköihin järjestelmä jakautuu, miten ne ovat yhteydessä toisiinsa ja mitä järjestelmäkomponentteja ne sisältävät. Myös fyysinen näkymä on olennainen hajautettujen järjestelmien kuvauksessa. (1, s. 35–37.)

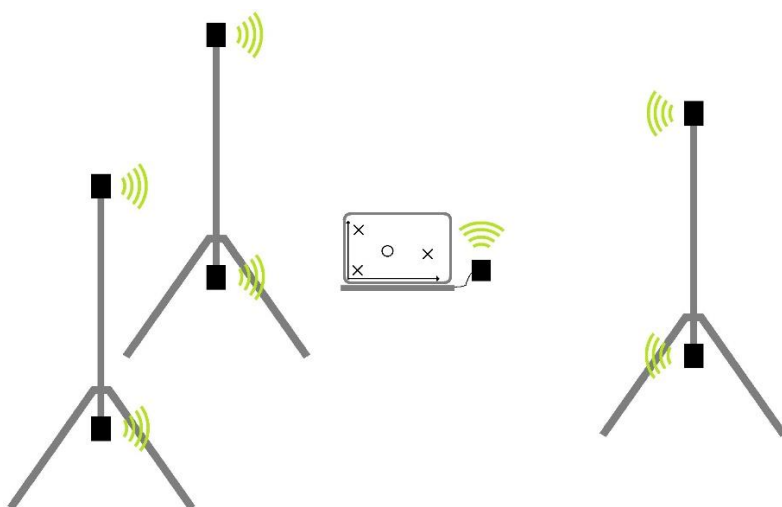
3 PAIKANNUSJÄRJESTELMÄN ARKKITEHTUURI

Tässä työssä tarkastellaan Qlu Oy:n kehittämää sulautettua sisäpaikannusjärjestelmää, jota hyödynnetään induktiosilmukoiden laatukartoituksessa. Paikannusjärjestelmän avulla voidaan yhdistää induktiosilmukan kentänvoimakkuuden mittaustulos ja mittauspisteen sijainti.

3.1 Paikannusjärjestelmä

Sisäpaikannusjärjestelmä on yrityksen mittauskalustoon kuuluva liikuteltava laiteisto. Se koostuu kuudesta paikannusankkurista ja yhdestä paikannettavasta laitteesta eli lokaattorista. Paikannus perustuu ankkureiden ja lokaattorin välisen signaalin kulkuajan mittaukseen. Signaalin kulkuajan avulla paikannusjärjestelmän moduulit mittaavat etäisyyttä toisiinsa. Paikannukseen tarvitaan vähintään kolme ankkuria, mutta mitä enemmän ankkureita on, sitä parempi on paikannuksen tarkkuus.

Kussakin ankkurissa on kaksi moduulia, yksi teleskooppiputken yläpäässä ja yksi alapäässä. Ankkurin moduulit kommunikoivat keskenään radioyhteyden lisäksi UART-sarjavyölyn kautta. Lokaattorimoduuli kommunikoi radioyhteydellä ankkureiden kanssa ja USB:llä mittaus-PC:n kanssa. Kaikissa moduuleissa käytetään samanlaista prosessoria sekä radiopiiriä. Kuva 2 havainnollistaa paikannuslaitteistoa.



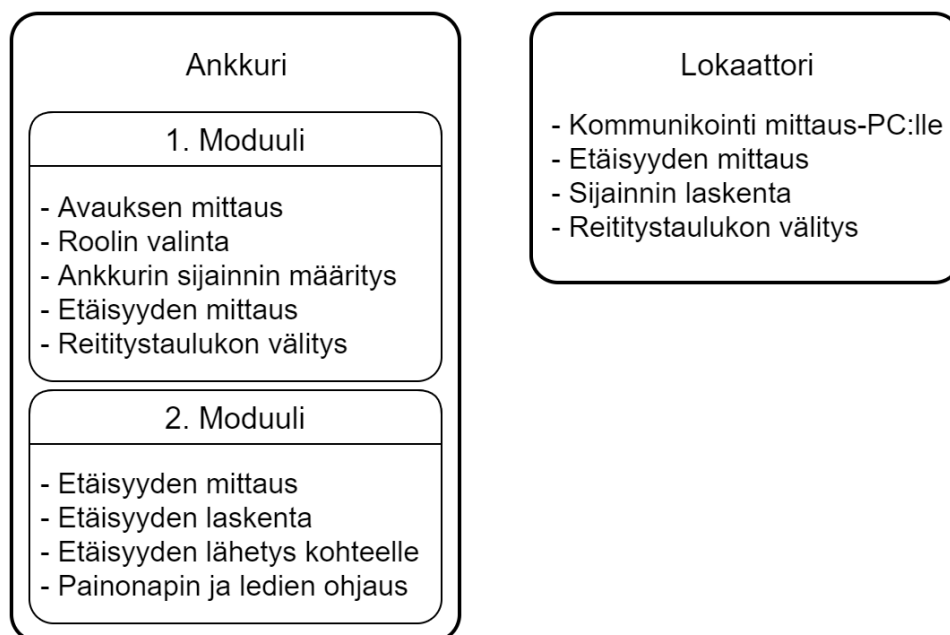
KUVA 2. Havainnekuva paikannuslaitteistosta kolmella paikannusankkurilla

3.2 Moduulien toiminnot

Moduulien päätoiminnot jakautuvat kuvan 3 mukaisesti. Ankkurin 1. moduulin (ylämoduuli) toimintoja ovat avauksen eli ankkurin moduulien välisen etäisyyden mittaaminen, ankkurin tilan valinta ("origo", "y", "3rd" tai "anchor"), ankkurin sijainnin määrittäminen muihin ankkureihin nähden, etäisyyden mittaaminen toiseen ankkuriin tai lokaattoriin sekä laitetiedot sisältävän reititystaulukon välitys muille ankkureille ja lokaattorille.

Ankkurin 2. moduuli (alamoduuli) mittaa etäisyyttä toiseen ankkuriin tai lokaattoriin, laskee lopullisen vaakasuoran etäisyyden kohteeseen 1. ja 2. moduulin etäisyyksien perusteella sekä lähettää lasketun etäisyyden kohteelle. Lisäksi 2. moduuli hoitaa ankkurin käyttöliittymän ohjauksen. Käyttöliittymänä toimivat 2. moduulin painonappi ja kolme LED-valoa. Painonapilla käyttäjä hyväksyy ankkurin mittaaman avauksen ja sallii ankkurin jatkaa paikannusvaiheeseen. LED-valot ilmaisevat aluksi mitatun avauksen ja hyväksynnän jälkeen sen, tuntee ko ankkuri "origo"-, "y"- ja "3rd" -ankkurit.

Lokaattorimoduulin toiminnot ovat paikannuksen tietojen lähettäminen mittaus-PC:lle, etäisyyden mittaaminen ankkureihin, oman sijainnin laskenta ankkureiden etäisyyksien perusteella sekä reititystaulukon välitys ankkureille.



KUVA 3. Moduulien toiminnot

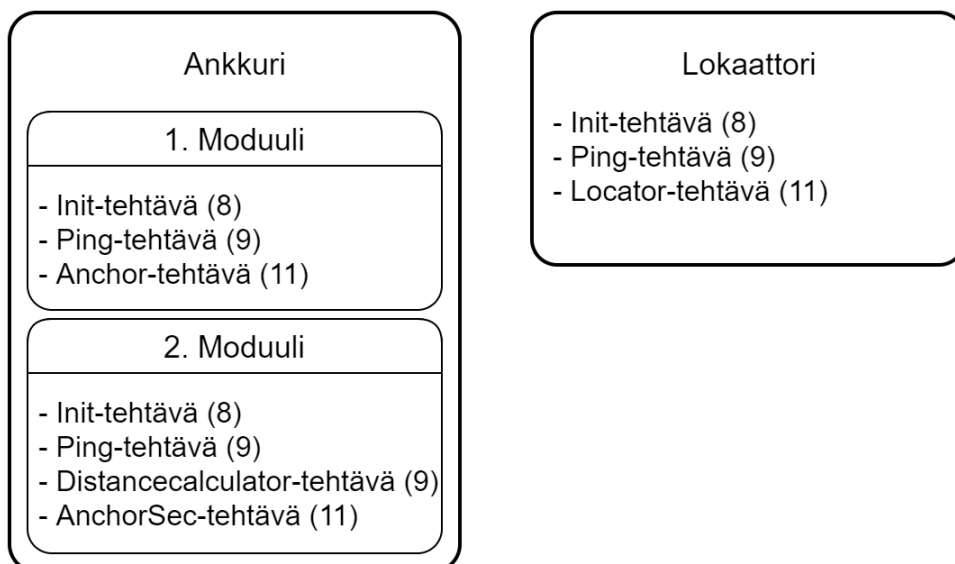
Etäisyysmittauksessa mittauksen aloittaja pyytää etäisyyttä mittauksen kohdeelta. Mittauksen päätyttyä kohde lähettää mittaustuloksen mittauksen aloittajalle. Ankkurin 1. moduuli toimii mittauksen aloittajana avauksen mittauksessa ja oman sijainnin määrittämisessä, sekä mittauksen kohteena, kun toinen ankkuri määrittää sijaintiaan tai kun lokaattori pyytää etäisyyttä moduuliin. Ankkurin 2. moduuli ei koskaan aloita mittausta vaan toimii aina mittauksen kohteena, kun 1. moduuli aloittaa avauksen mittauksen, toinen ankkuri määrittää sijaintiaan tai kun lokaattori pyytää etäisyyttä. Lokaattorimoduuli puolestaan toimii aina mittauksen aloittajana pyytäessään etäisyyksiä ankkureilta.

3.3 Ohjelmiston rakenne

Paikannusjärjestelmän sulautettu ohjelmisto on toteutettu MQX Lite RTOS (Real Time Operating System) -käyttöjärjestelmän päälle. Käyttöjärjestelmä tarjoaa sovellukselle mm. työkalut rinnakkaisajon, resurssien ja muistin hallintaan. Se myös ohjaa keskeytyksiä ja hoitaa tehtävien vuoronnuksen eli skeduloinnin sekä niiden välisen kommunikaation.

3.3.1 Tehtävät

Ohjelmiston toiminnalliset kokonaisuudet on jaettu kuuteen tehtävään. Kussakin moduulissa käytössä olevia tehtäviä suoritetaan rinnakkaisesti tehtäville määritettyjen prioriteettien mukaisessa järjestyksessä. Kullekin moduulille kuuluvat tehtävät prioriteetteineen on esitetty kuvassa 4. MQX RTOS -käyttöjärjestelmässä pienempi prioriteettinumero tarkoittaa suurempaa prioriteettia.



KUVA 4. Ohjelmiston tehtävät moduuleissa

Init- ja **Ping-**tehtävät ovat yhteisiä kaikille moduuleille. Init-tehtävä suoritetaan kerran kaikissa moduuleissa käynnistyksen jälkeen. Init-tehtävässä moduuli lukee vanhan tilamuuttujan Flash-muistista, konfiguroi ja alustaa radiopiirin, selvittää oman roolin piirilevyn kytkentöjen perusteella ja viimeisenä ottaa roolia koskevat tehtävät käyttöön. (Liite 1.)

Ping-tehtävä suoritetaan Ping-ajastimella määritetyin väliajoin (kolme sekuntia) sekä silloin, kun radion vastaanotossa tai lähetyksessä ilmenee ongelma. Ping-tehtävän tarkoituksena on havaita ja poistaa ankkurin reititystaulukosta laite, johon ei ole enää yhteyttä. Tehtävä lähettää Ping-kyselyn ankkurille, jos ankkurilta ei ole saatu viestiä 15 sekuntiin, ja lokaattorille, jos lokaattorilta ei ole saatu viestiä 5 minuuttiin. Jos kyselyyn ei vastata, ankkuri poistaa laitteen tiedot reititystaulukostaan. Lokaattorissa Ping-tehtävä puolestaan lähettää aika ajoin ankkureiden tiedot mittakoneelle. (Liite 2.)

Anchor-tehtävä on ankkurin 1. moduulin päätehtävä. Tehtävässä moduuli mittaa avauksen (ankkurin moduulien välinen etäisyys), lähettää oman reititystaulukonsa muille laitteille, valitsee ankkurin tilan ja määrittää oman sijaintinsa muihin olemassa oleviin ankkureihin nähden. Tämän jälkeen 1. moduuli siirtyy ikuiseen mittaussilmukkaan, jossa se laskee etäisyyden mittauksen aloittajaan,

välittää etäisyyden ja kohteen osoitteen 2. moduulille sekä lähettää kuittauksen mittauksen aloittajalle. (Liite 3.)

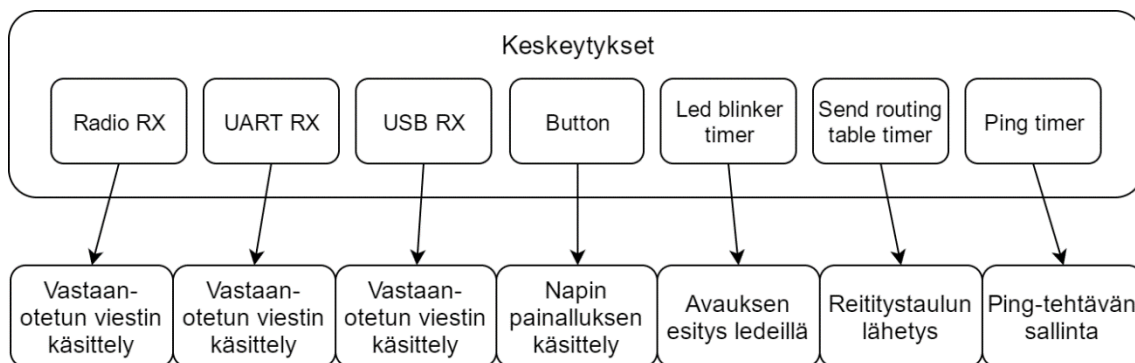
AnchorSec-tehtävä on ankkurin 2. moduulin päätehtävä. Tehtävän alussa moduuli sytyttää kaikki kolme lediä ja odottaa, että 1. moduuli lähettää osoitteensa. Tämän jälkeen 2. moduuli siirtyy ikuiseen mittaussilmukkaan, jossa se laskee etäisyyden mittauksen aloittajaan. Jos mittaus oli avauksen mittaus, moduuli lähettää etäisyyden 1. moduulille. Muutoin AnchorSec-tehtävä lähettää ilmoituksen Distancecalculator-tehtävälle valmiista mittauksesta. (Liite 4.)

Distancecalculator-tehtävä on ankkurin 2. moduulissa suoritettava ikuinen silmukka. Tehtävä odottaa, kunnes ankkurin molempien moduulien etäisyysmittaukset samaan kohteeseen ovat valmiit. Tämän jälkeen moduuli laskee vaakasuoran etäisyyden ja lähettää tuloksen mittauksen aloittajalle. (Liite 5.)

Locator-tehtävä on lokaattorimoduulin päätehtävä. Tehtävä odottaa, kunnes mittaus-PC:llä suoritettava mittausohjelmisto antaa luvan kommunikoida USB:n kautta. Tehtävä lähettää ankkureiden tiedot mittausohjelmistolle ja siirtyy ikuiseen paikannussilmukkaan. Silmukassa lokaattori mittaa etäisyydet tunnettuihin ankkureihin, jos ankkureita on vähintään kolme. Jos etäisyysmittaukset onnistuvat vähintään kolmeen ankkuriin, lokaattori laskee etäisyyksien perusteella oman sijaintinsa ja lähettää sen mittaus-PC:lle. (Liite 6.)

3.3.2 Keskeytykset

Reaaliaikaisuutta vaativille sulautetuille laitteille tyypilliset keskeytykset hoitavat tässäkin järjestelmässä useita toimintoja. Kuvassa 5 on esitetty paikannusjärjestelmän ohjelmiston oleelliset laitteistokeskeytykset.



KUVA 5. Paikannusohjelmiston laitteistokeskeytykset

Radio RX -keskeytys tapahtuu, kun radio vastaanottaa viestin. Keskeytysrutiinissa viestin tyyppi tulkitaan ja toimitaan sen mukaisesti. Radio RX -keskeytys kontrolloi oman reititystaulukon päivytystä vastaanotetun reititystaulun perusteella, etäisyysmittauksen ja Ping-viestien vastaanottoa sekä niiden vastausviestien lähetystä.

UART RX -keskeytys tapahtuu, kun viesti vastaanotetaan UART-sarjaväylän kautta. Keskeytysrutiinissa viestin tyyppi tulkitaan ja toimitaan sen mukaisesti. UART-sarjaväylällä lähetettäviä viestejä ovat ankkurin 1. moduulin etäisyysmittauksen tulos, ankkurin avausmittauksen tulos 1. moduulin osoitteen lähetysviesti ja sen vastausviesti, ankkurin tilanvalintaan siirtymisen käskyviesti sekä ankkurin 2. moduulin reititystaulukon päivitysviesti.

USB RX -keskeytys tapahtuu, kun viesti vastaanotetaan USB-sarjaväylän kautta. Keskeytysrutiini tulkitsee viestin ja määrittää sen perusteella lokaattori-moduulille luvan lähettää USB-väylälle.

Button-keskeytys tapahtuu, kun 2. moduulin painonappia painetaan. Keskeytysrutiini hyväksyy ankkurin mittaaman avauksen ja siirtää ankkurin tilanvalintavaiheeseen.

Led blinker timer, **Send routing table timer** ja **Ping timer** ovat ajastimia, joissa keskeytys tapahtuu kyseiselle ajastimelle määritetyn ajan kuluttua. Led blinker -ajastimen keskeytysrutiinin avulla ankkurin 2. moduuli vilkuttaa avausmittauksen tulosta ledeillä. Send routing table timer on reititystaulukon uudelleenlähetyksen ajastin, jonka keskeytysrutiini lähettää reititystaulukon muille

ankkureille ja lokaattorille. Ping timer on Ping-tehtävän suorituksen ajastin, jonka keskeytysrutiini antaa Ping-tehtävälle suoritusluvan.

3.3.3 Reititystaulukko

Paikannukseen tarvittavat ankkureiden ja lokaattorin väliset laitetiedot välitetään reititystaulukoiden avulla. Näitä tietoja ovat laitteen 1. ja 2. moduulien osoitteet, tila, x-, y- ja z -koordinaatit, avaus, status-laskuri ja valmiustieto. Toistaiseksi z-koordinaattia ei hyödynnetä paikannuksessa.

Jokaisella laitteella on omassa reititystaulukossaan omien tietojensa lisäksi muiden tunnettujen laitteiden tiedot. Reititystaulukon lähetyksessä laite lähettää koko reititystaulukkonsa, eli kaikkien tuntemiensa laitteiden tiedot. Reititystaulukossa laitteet erotellaan 1. moduulin osoitteen perusteella. Vastaanotetun reititystaulukon tiedot päivitetään omaan reititystaulukkoon jokaisen reititystaulukon laitteen Status-laskurin perusteella. Jos laitteen Status-laskuri on kasvanut, kyseisen laitteen tiedot päivitetään. Laite kasvattaa Status-laskuriaan aina, kun laitteen ominaisuudet muuttuvat.

Ankkurin 1. moduuli hoitaa reititystaulukoiden lähetyksen ja vastaanoton. Ankkurin 2. moduuli ei vastaanota reititystaulukkoa radioteitse, vaan päivittyy aina 1. moduulin reititystaulukon mukaiseksi. Lokaattorimoduuli käyttäytyy ankkurin 1. moduulin tavoin reititystaulukkoa lähettäessä ja vastaanottaessa.

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Qlu Oy:n kehittämän sisäpaikannusjärjestelmän toiminta ja muodostaa sen ohjelmistosta arkkitehtuurikuvaus, joka auttaa järjestelmän ylläpitoa ja jatkokehitystä. Lisäksi se muodostaa kommunikatiovälineen järjestelmän kanssa työskentelevien henkilöiden välille.

Työssä selvitettiin paikannusjärjestelmän arkkitehtuuria fyysisen, loogisen ja prosessinäkymän osalta. Dokumentti kertoo, millaisista laiteyksiköistä järjestelmä koostuu ja mitä ohjelmistokomponentteja ne sisältävät, kuinka toiminnallisuudet jakautuvat komponenttien kesken ja millaisia prosesseja toiminnallisuudet sisältävät.

Sulautetun C-ohjelmakoodin lukeminen ja toiminnan tulkitseminen oli aikaa vievää varsinkin, koska koodia oli kommentoitu varsin niukasti. Koodin läpikäyminen antoi kuitenkin sulautetun ohjelmakoodin kehitykseen uusia näkökulmia ja lähestymistapoja, jotka auttavat kehittämään omaa ohjelmointitaitoani.

LÄHTEET

1. Koskimies, Kai – Mikkonen, Tommi 2005. Ohjelmistoarkkitehtuurit. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Talentum. Saatavissa: http://www.cs.tut.fi/~ohar/OHAR2012_13-KIRJA-KoskimiesMikkonen.pdf. Hakupäivä: 29.12.2016.
2. Petreski, Darko 2014. How to write UML software documentation in your organization. GigaVoice LLC. Saatavissa: <http://blog.gigavoice.com/how-to-write-uml-software-documentation-in-your-organization>. Hakupäivä 30.12.2016.

LIITTEET

Liite 1 Init-tehtävän vuokaavio

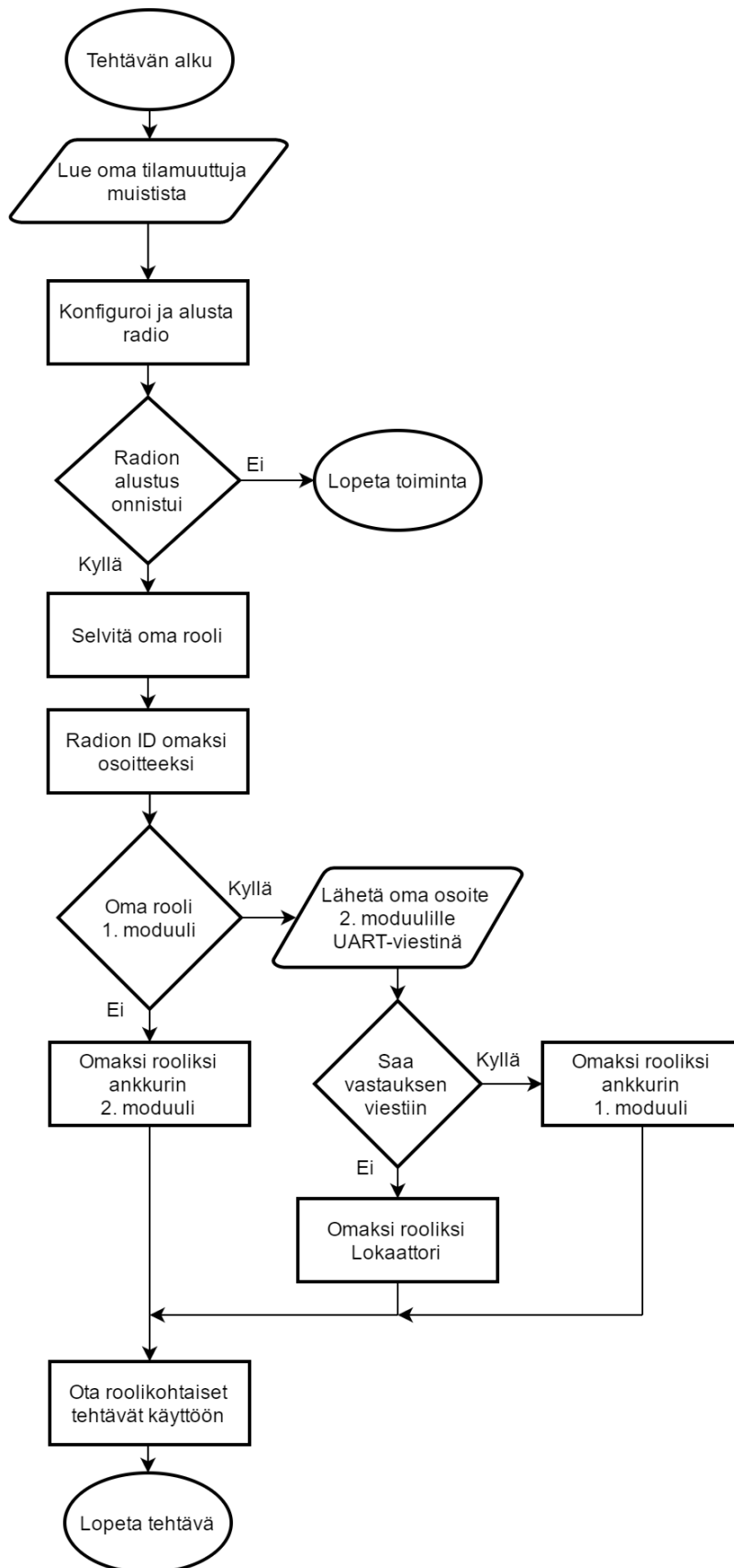
Liite 2 Ping-tehtävän vuokaavio

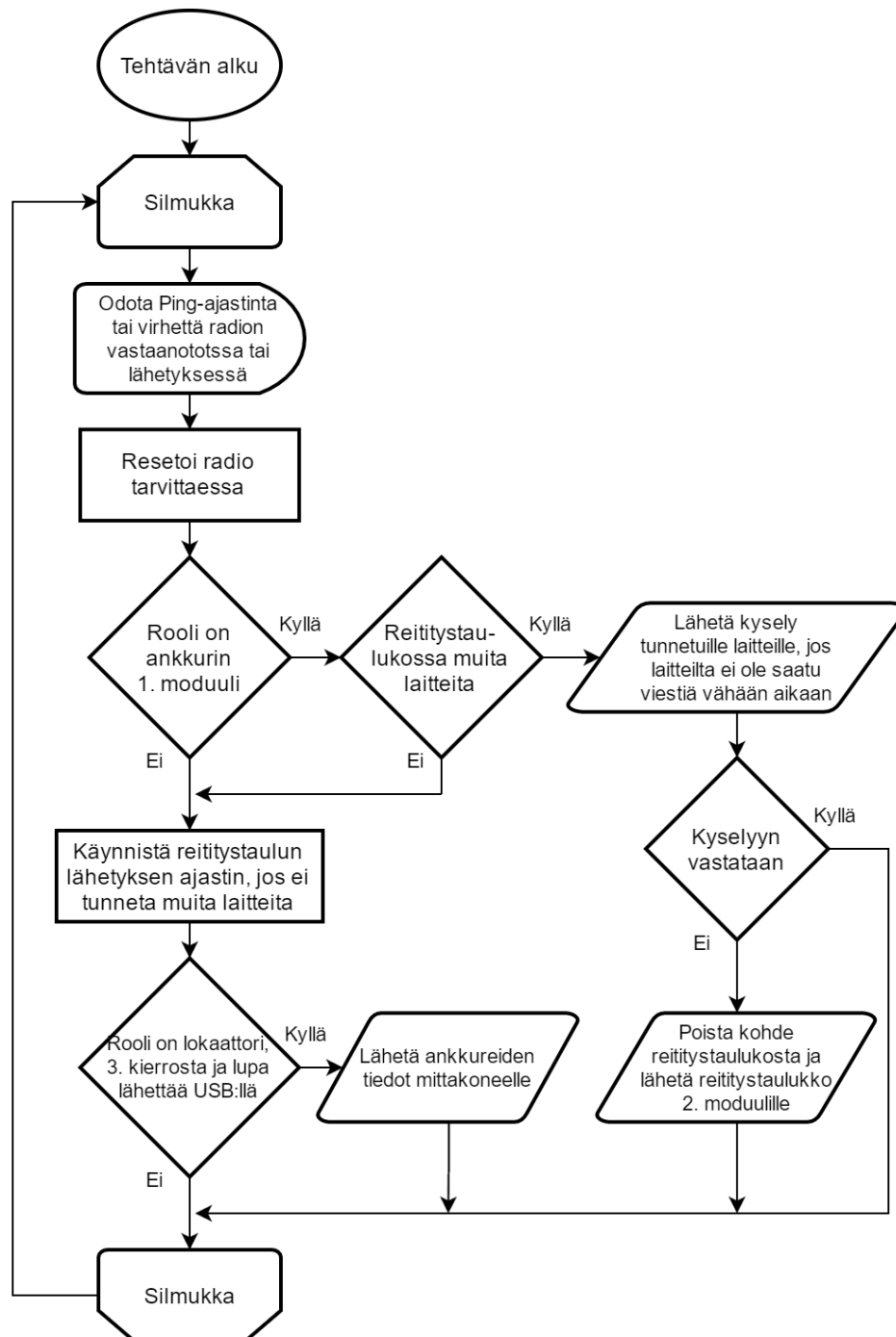
Liite 3 Anchor-tehtävän vuokaavio

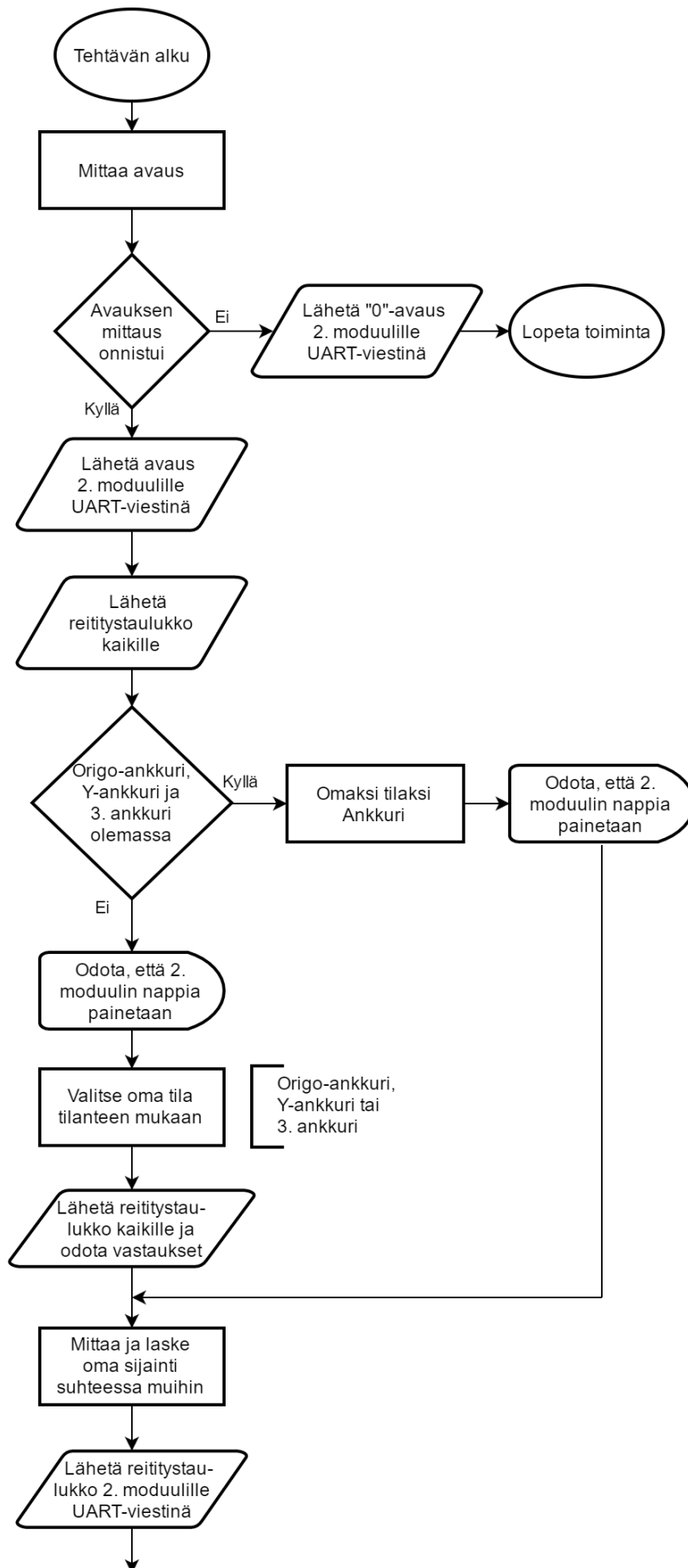
Liite 4 AnchorSec-tehtävän vuokaavio

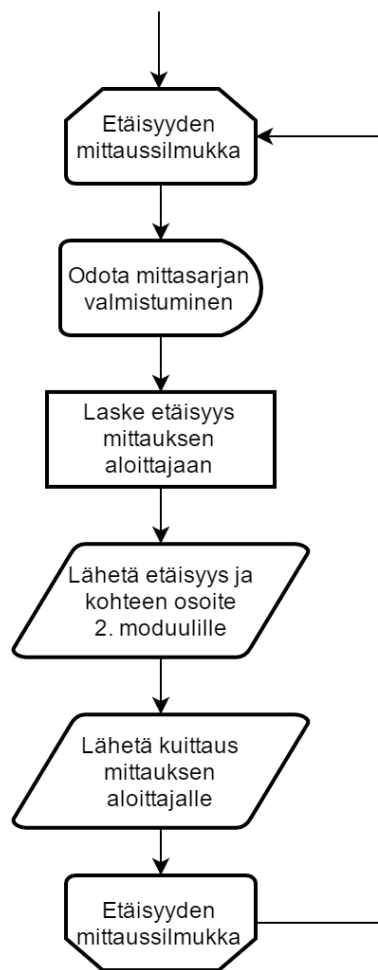
Liite 5 Distancecalculator-tehtävän vuokaavio

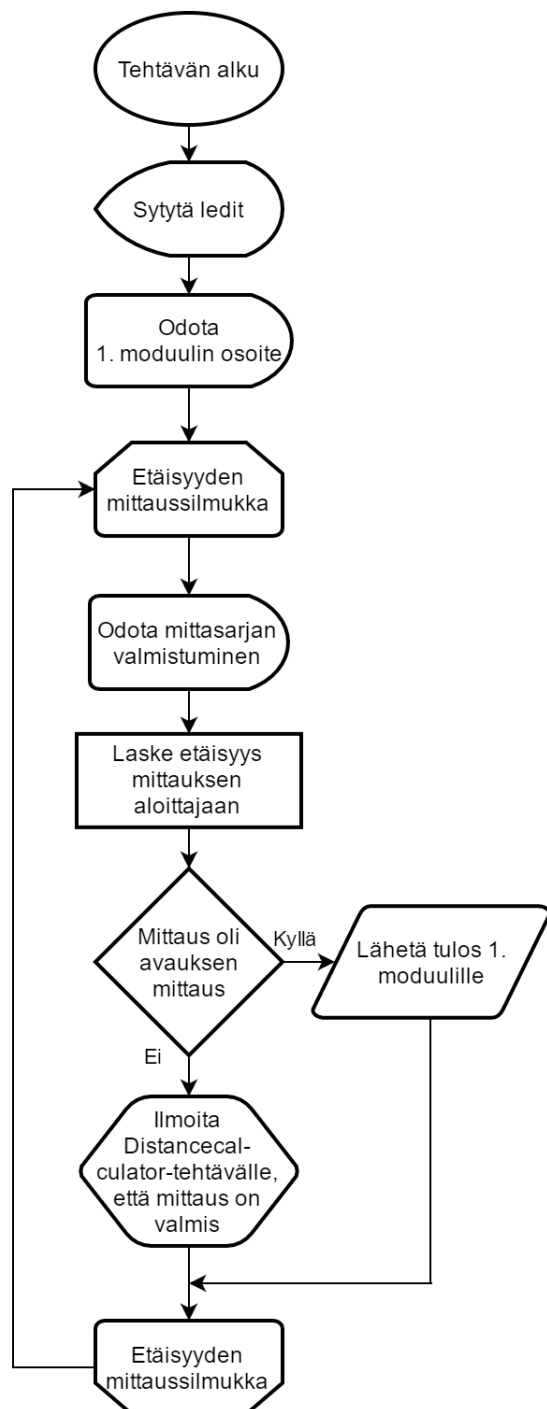
Liite 6 Locator-tehtävän vuokaavio

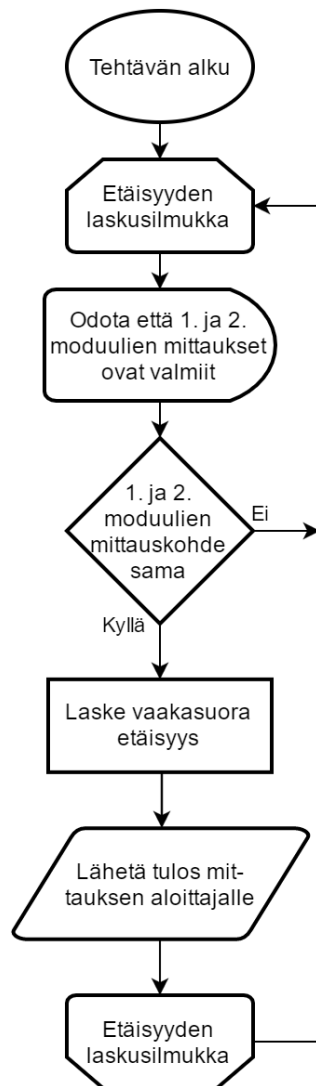


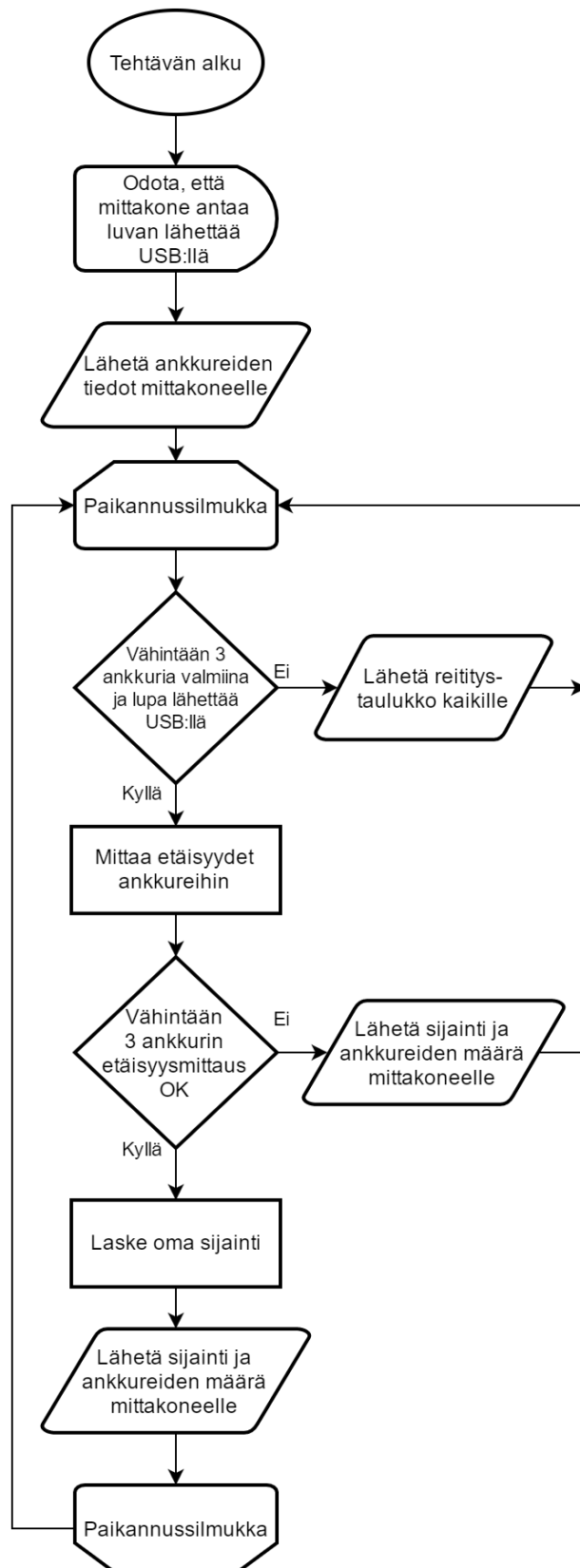












Petri Sironen

**LIIKEANTURIN KÄYTTÖÖNOTTO JA HYÖDYNTÄMINEN SISÄ-
PAIKANNUSJÄRJESTELMÄSSÄ**

LIIKEANTURIN KÄYTTÖÖNOTTO JA HYÖDYNTÄMINEN SISÄ- PAIKANNUSJÄRJESTELMÄSSÄ

Petri Sironen
Opinnäytetyö, osa 3
Kevät 2017
Tietotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

ALKULAUSE

Haluan kiittää tämän opinnäytetyöaiheen tarjoajaa oululaista Qlu Oy:tä ja yrityksen puolesta ohjaajana toiminutta tuotekehitysinsinööri Juha Saarimaata. Lisäksi haluan kiittää Oulun ammattikorkeakoulun ohjaavana opettajana toiminutta Pekka Alaluukasta sekä kielenohjaajana toiminutta Tuula Hopeavuorta.

Oulussa 2.5.2017

Petri Sironen

SISÄLLYS

ALKULAUSE	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	5
2 PAIKANNUSJÄRJESTELMÄ	6
3 MPU-9255-LIIKEANTURIMODUULI	7
3.1 Moduulin käyttöönotto	7
3.2 Kiihtyvyysanturi ja gyroskooppi	8
4 LIIKEANTURIN HYÖDYNTÄMINEN	10
4.1 Liikkeentunnistus	10
4.2 Inertiapaikannus	11
4.2.1 Inertiapaikannuksen toimintaperiaate	11
4.2.2 Inertiapaikannuksen hyödyntäminen	13
5 YHTEENVETO	14
LÄHTEET	15

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön kolmannen osan aiheena on selvittää, kuinka liikeanturia voidaan hyödyntää Qlu Oy:n kehittämässä sisäpaikannusjärjestelmässä. Testattava InvenSense MPU-9255 -liikeanturimoduuli sisältää kiihtyvyyssanturin, gyroskoopin sekä magnetometrin. Liikeanturin ominaisuuksia testataan ja pohditaan, kuinka anturia voitaisiin hyödyntää joko lisänä nykyisessä paikannusjärjestelmässä tai itsenäisenä inertiapaikantimena.

2 PAIKANNUSJÄRJESTELMÄ

Tähän työhön liittyvä sisäpaikannusjärjestelmä on sama järjestelmä, jonka arkkitehtuuria käsiteltiin tämän opinnäytetyökokonaisuuden toisessa osassa. Paikannusta käytetään apuna induktiosilmukoiden laatukartoituksessa, jotta induktiosilmukan kentänvoimakkuuden mittaustulos ja mittauspisteen sijainti voidaan automaattisesti yhdistää mittaus-PC:llä. Paikannusjärjestelmässä paikantimen eli lokaattorin sijainnin määrittäminen perustuu paikannusankkureiden ja lokaattorin välisen signaalin kulkuajan mittaukseen. Paikannuksessa ankkurit mittaavat ja laskevat etäisyyttä lokaattoriin, minkä perusteella se laskee oman sijaintinsa kolmiomittauksen mukaisesti. Lokaattorimoduuli on kiinnitetty monopod-jalkaan induktiosilmukan mittalaitteen kanssa.

Paikannuksen tarkkuus nykyisellään on noin 40 cm:n sisällä. Tämänhetkisessä laitteistoversiossa paikan laskentaan lokaattori valitsee neljä parasta ankkuria mittauslaitteiston geometrian perusteella, kun ankkureita on enemmän kuin neljä. Paikan laskentaan valitaan ankkurit, joiden etäisyysvektorit lokaattoriin ovat kyseisellä ajan hetkellä lähimpänä 90 asteen kulmaa toisiinsa nähden. Tällä priorisointimenetelmällä laskennasta saadaan karsittua epärelevantimmat etäisyysmittaukset pois, jolloin paikanlaskentanopeus ja -tarkkuus paranevat.

(1.)

3 MPU-9255-LIIKEANTURIMODUULI

Työssä tutkittiin 9-akselista InvenSense MPU-9255 -liikeanturimoduulia (Inertial Measurement Unit). Moduuli sisältää 3-akselisen MEMS (Micro Electro Mechanical System) -kiihtyvyysanturin, -gyroskoopin ja -magnetometrin. Lisäksi moduulissa on piirin sisäinen lämpöanturi ja prosessori (Digital Motion Processor) moduulin ohjaamiseen. (2, s. 5.) Kiihtyvyysanturi mittaa akseleiden suuntaisia kiihtyvyyksiä, gyroskooppi akseleiden kiertymisen kulmanopeuksia ja magnetometri maan magneettikentän suuntaa ja voimakkuutta.

Anturimoduulissa on kullekin anturille oma 16-bittinen AD-muunnin, joka muuntaa anturin analogisen ulostulon digitaalisesti luettavaan muotoon. Moduuli konfiguroidaan ja antureiden tiedot luetaan sen prosessorissa olevien rekistereiden kautta. Prosessorin rekistereitä voidaan lukea ja kirjoittaa SPI- ja I2C-sarjavyölien avulla.

3.1 Moduulin käyttöönotto

Anturimoduulista päätettiin tutkia kiihtyvyysanturia ja gyroskooppia. Moduuli kytkettiin I2C-sarjavyölällä Arduino-kehitysalustaan, jolla se konfiguroitiin ja antureiden arvoja luettiin. Tärkeänä osana käyttöönottoa oli antureiden biasointi, jolla käynnistyksen jälkeinen lepotila asetetaan antureiden nolla-asennoksi.

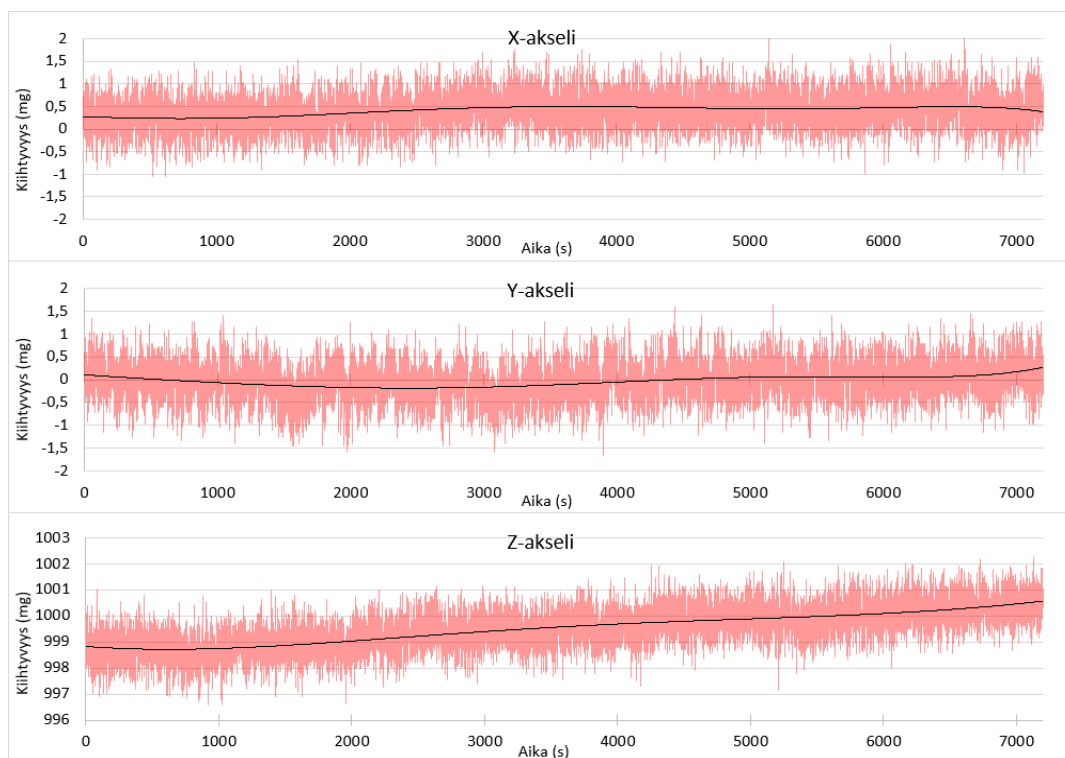
Biasointimittaukset suoritettiin käyttämällä moduulin FIFO (First In First Out) -lukumenetelmää, jolla antureiden peräkkäisiä mittaustuloksia voitiin lukea peräkkäisesti. Kummankin anturin mittaustuloksia tallennettiin 40 kpl ja niistä laskettiin keskiarvot. Anturimoduulissa on rekisterit x-, y- ja z-akseleiden biasointiarvoille, jotka moduulin prosessori summaa automaattisesti mittaustuloksiin. Kiihtyvyysanturin biasointirekisterissä on kuitenkin tehtäällä tehdyn biasoinnin arvot, jotka palautuvat rekisteriin aina anturin nollauksen yhteydessä. Näin ollen biasointimittauksen arvot täytyy vähentää tehdasarvoista ennen rekisteriin kirjoittamista. Gyroskoopille ei ole tehty tehdasbiasointia, joten biasointiarvot voitiin suoraan kirjoittaa gyroskoopin biasointirekisteriin.

Biasoinnin jälkeen moduuli konfiguroitiin lukemaan gyroskoopin ja kiihtyvyysanturin mittaustuloksia jatkuvasti ja lähettämään Arduinolle keskeytyksen, kun uudet mittaustulokset ovat luettavissa rekistereistä.

3.2 Kiihtyvyysanturi ja gyroskooppi

Kiihtyvyysanturi on konfiguroitavissa ± 2 , ± 4 , ± 8 , ja ± 16 g:n mittausalueille ja gyroskooppi ± 250 , ± 500 , ± 1000 , ja ± 2000 °/s:n mittausalueille. Koska antureiden ulostulot muunnetaan aina 16-bittisellä AD-muuntimella, on digitaalisen mittaustuloksen tarkkuus sitä huonompi, mitä suurempi mitattava alue on.

Kiihtyvyysanturi ja gyroskooppi konfiguroitiin pienimmille mittausalueilleen, jolloin pienten muutosten erottelukyky säilyy mahdollisimman hyvänä. Moduulin sisäisen alipäästösuodattimen päästökaistanleveys asetettiin 5 Hz:iin kummallekin anturille, jotta korkeataajuinen kohina suodattuisi mahdollisimman hyvin pois. Kiihtyvyysanturin ja gyroskoopin nollakohtien ryömintää eli mittaustulosten keskiarvon hidasta liukumista mitattiin kahden tunnin ajan lukemalla antureiden arvoja puolen sekunnin välein. Kiihtyvyysanturin mittaukset on esitetty kuvassa 1 ja gyroskoopin mittaukset kuvassa 2.



KUVA 1. Kiihtyvyysanturin ryömintä



KUVA 2. Gyroskoopin ryömintä

Kuvista 1 ja 2 nähdään, että paikallaan ollessa kiihtyvyyssanturin ja gyroskoopin lukemat ryömivät selvästi. Ryömintä on kuitenkin niin vähäistä, ettei se aiheuta ongelmia anturin käytölle. Lisäksi mittaustuloksia tulee joka tapauksessa prosessoida ja suodattaa myöhemmässä vaiheessa. Kiihtyvyyssanturin ja gyroskoopin mittauksia ei suoritettu samanaikaisesti, eikä mittauksissa otettu huomioon anturin lämpötilan vaihtelua. Tarkemman analyysin avulla antureille voidaan tehdä lämpötilakorjausfunktio, jolla mahdolliset lämpötilanvaihtelusta johtuvat ryöminät korjautuvat.

4 LIIKEANTURIN HYÖDYNTÄMINEN

Liikeanturia olisi mahdollista hyödyntää kartoituslaitteistossa useallakin eri tavalla. Yksinkertaisimmillaan liikeanturi toimisi pelkkänä liiketunnistimena. Pidemmän kehityksen tuloksena anturi voisi toimia radiopaikannusta tukevana inertipaikantimena ja jopa itsenäisenä inertipaikantimena.

4.1 Liikkeentunnistus

MPU-9255-liikeanturimoduuli sisältää Wake-on-motion-liikkeentunnistustilan, jossa moduuli lähettää prosessorille keskeytyksen, kun moduuli havaitsee liikuvansa. Liikkeentunnistukseen anturimoduuli käyttää pelkkää kiihtyvyyssanturia virransäästötilassa, jolloin moduulin virrankulutus saadaan erittäin pieneksi. Virrankulutukseen vaikuttaa se, kuinka tiheästi anturi konfiguroidaan ottamaan näytteitä. Pienimmillään 0,24 Hz:n näytteistystaajuudella moduulin virrankulutus on 8,1 μ A ja suurimmillaan 500 Hz:n näytteistystaajuudella 196 μ A. Liikkeentunnistuksen herkkyyttä eli sitä, minkä suuruiseen kiihtyvyyden muutokseen anturi reagoi, voidaan myös säätää väliltä 0–1020 mg 4 mg:n välein. (2, s. 11, 30.)

Liikkeentunnistusta voidaan hyödyntää paikannettavassa mittalaitteessa. Kun tiedetään, onko mittalaite paikallaan vai liikkeessä, voidaan radiopaikannukselta saatavan paikkatiedon keskiarvoistusta muuttaa sen mukaan. Mittalaitteen ollessa paikallaan paikannuksen keskiarvoistusta voidaan lisätä, jolloin paikkatiedon tarkkuus ja stabiilisuus paranevat. Mittalaitteen liikkeessä keskiarvoistusta voidaan puolestaan vähentää, jolloin paikannustarkkuus heikkenee, mutta sijainnin päivitysnopeus kasvaa. Lievästä tarkkuuden heikkenemisestä liikkeen aikana ei koidu ongelmia, koska mittalaite pysäytetään aina, kun mittaus suoritetaan halutusta paikasta. Liikkeessä paikkatiedon tulee kuitenkin päivittyä riittävän nopeasti, jotta mittalaitteen sijaintia mittaus-PC:n kartalla on jouheva seurata ja uusi mittauspaikka on helppo hakea.

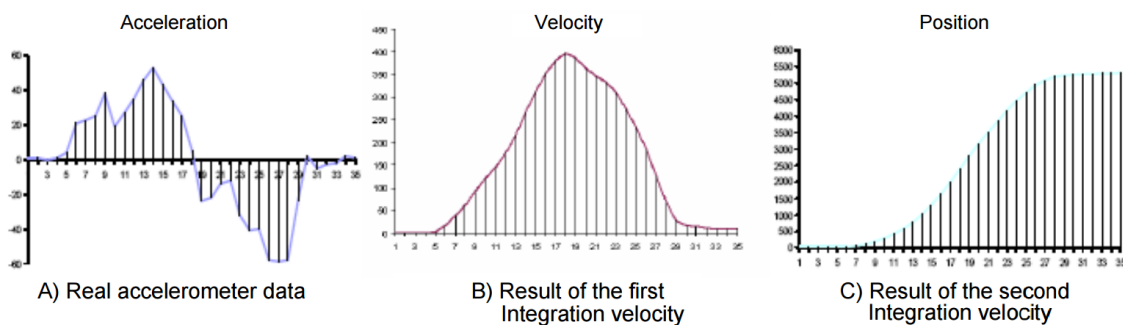
Liikkeentunnistusta on mahdollista hyödyntää myös paikannusankkureissa. Paikannuksen pystytysvaiheessa ankkurit mittaavat sijaintinsa toisiinsa nähden ja muodostavat koordinaatiston. Jos yhden tai useamman ankkurin paikkaa täytyy siirtää, on kaikki ankkurit käynnistettävä uudelleen, jotta ankkurit kalibroituivat

siirron jälkeen. Tämä muodostaa haasteita isoissa tiloissa, joissa ankkuritolpat ovat kaukana toisistaan. Liikeanturin avulla ankkuri tunnistaisi, kun sitä liikutetaan, ja liikkeen pysähtyttyä kertoisi uudelleenkalibrointitarpeesta muille ankkureille. Näin paikannuslaitteistoa saataisiin automatisoitua ja säästettäisiin aikaa mittaustilanteista.

4.2 Inertiapaikannus

4.2.1 Inertiapaikannuksen toimintaperiaate

Inertiapaikannus perustuu liikkeen mittaamiseen kiihtyvyyssanturin havaitsemien kiihtyvyyksien perusteella. Kiihtyvyyttä tulee integroida kahdesti, jotta anturin paikka saadaan selville. Ensimmäisellä integroinnilla saadaan selville kiihtyvyydestä aiheutunut nopeus ja nopeutta integroimalla saadaan selville paikka (kuva 3). (3, s. 1–3.)



KUVA 3. Kiihtyvyyden integrointi (3, s. 3)

Liikkeen mittauksessa anturin asennon määrittäminen on hyvin tärkeässä roolissa, jos anturi ei ole absoluuttisen vakaasti vaakatasossa pysyvässä sovelluksessa. Tällöin kiihtyvyyssanturi havaitsee liikkeen aiheuttaman kiihtyvyyden lisäksi myös maan vetovoiman aiheuttamaa kiihtyvyyttä anturin kallistuskulman muuttuessa. Kun anturin asento tiedetään, voidaan sen avulla laskea todellisen liikkeen suuntainen kiihtyvyys. (4, s. 5.)

Gyroskoopin akseleiden kulmanopeuksia integroimalla voidaan laskea gyroskooppiin perustuva asento. Samoin kiihtyvyyssanturin havaitseman kohtisuoraan maata kohti olevan 1 g suuruisen putoamiskiihtyvyyden avulla voidaan las-

kea kiihtyvyysanturiin perustuva asento. Gyroskooppiin perustuvaan asennonmittaukseen muodostuu kuitenkin pitkällä ajalla virhettä mm. eri tekijöistä aiheutuvasta gyroskoopin ryöminnästä ja näiden integroitumisesta asennon laskennassa. Kiihtyvyysanturi on puolestaan vakaa pitkällä tarkasteluvälillä, mutta sen ulostulo on kohinaista ja se havaitsee myös liikkeestä aiheutuvat kiihtyvyydet. Näin ollen kiihtyvyysanturin ja gyroskoopin asentotiedot yhdistämällä saadaan huomattavasti tarkempi asentotieto. (5.)

Kiihtyvyysanturilla ei kuitenkaan voi mitata anturin horisontaalista suunnan muutosta eli pystysuoran z-akselin kiertymistä. Z-akselin kiertymän mittaukseen voidaan kiihtyvyysanturin sijasta käyttää magnetometriä korjaamaan gyroskoopin virheitä. (5.) Magnetometri vaatii tarkempaa kalibrointia, suodatusta sekä magneettisten häiriölähteiden vaikutusten matemaattista eliminoimista, jotta mittaus-tuloksista saadaan käyttökelpoisia.

Tällaiseen anturidatojen yhdistelyyn (Sensor Fusion) on olemassa erilaisia suodatinalgoritmeja, kuten Kalman-suodatin, Complementary-suodatin sekä Madgwick- ja Mahony-algoritmit. Nämä algoritmit poikkeavat toisistaan ominaisuuksiltaan ja vaatimaltaan laskentateholta. (5; 6.) Tässä työssä Arduinoon kytetyn liikeanturin asennon määrittystä testattiin Complementary-suodattimen avulla. X- ja y-akseleiden kallistuskulmien laskenta kiihtyvyysanturin ja gyroskoopin asennot yhdistämällä onnistui, mutta z-akselin kiertymisen laskenta magnetometrin ja gyroskoopin avulla jäi epävakaaksi. Anturin ollessa vaakatasossa z-akselin suuntavakausta oli kohtuullinen, mutta häiriöityi, kun anturia kallisti x- tai y-akselin suhteen.

Kokonaisuudessaan kiihtyvyysanturiin perustuvassa liikkeen mittauksessa ongelmaksi muodostuvat paikkatietoon kertautuvat virheet. Kiihtyvyysanturin epätarkkuudet kertautuvat nopeasti, koska kiihtyvyyttä integroidaan kahdesti. Mitä pidempiä yhtäjaksoiset mittausajat ovat, sitä enemmän paikkatietoon summautuu vääristymää. Mittaustuloksia käsittelevän prosessorin laskentanopeus vaikuttaa paikan tarkkuuteen, koska mitä nopeammin yksi mittaustulos voidaan prosessoida, sitä suuremmaksi näytteistystaajuus saadaan. Tällöin kiihtyvyyden integrointiväli tihenee ja vääristymä pienenee. Inertiapaikannuksen toteuttaminen vaatii paljon antureiden mittaustulosten suodatusta ja yhdistämistä, jotta

anturilta saatava liiketieto saadaan vastaamaan todellista liikettä riittävällä tarkkuudella.

4.2.2 Inertiapaikannuksen hyödyntäminen

Inertiapaikannusta on mahdollista hyödyntää nykyisen paikannusjärjestelmän tukena ja pidemmälle vietyä jopa itsenäisenä paikannusmenetelmänä. Nykyisen radiopaikannuksen rinnalla inertiapaikannuksella voidaan parantaa paikannuksen tarkkuutta entisestään. Inertiapaikannuksella voidaan avustaa radiopaikannusta tilanteissa, joissa paikannettava mittalaite joutuu katveeseen eikä suora näköyhteyttä riittävän moneen paikannusankkuriin ole. Tällöin paikkatieto saadaan hetkellisesti inertiapaikannukselta, eikä ankkureita tarvitse siirtää ja kalibroida uudelleen. Katveja muodostuu tiloissa, joissa on lattian korkeuseroja ja kiinteitä esteitä, kuten penkkirivejä, pöytiä ja pylväitä. Myös monikulmaisissa ja erillisiä syvennyksiä sisältävissä suurissa tiloissa voi katvealueita muodostua helposti.

Itsenäisenä paikannusmenetelmänä inertiapaikannusta voidaan hyödyntää hyvin pienissä tiloissa, kuten hisseissä, joihin radiopaikannusjärjestelmää on mahdollonta pystyttää, tai tiloissa, joissa yksittäinen paikannettava alue on hyvin pieni, kuten palvelupistesilmukan sisältävien palvelutiskien edustat. Jos mitattava alue on muutamia neliömetrejä, on radiopaikannusjärjestelmän pystyttäminen kohtuutonta.

Jo pelkkää mittalaitteen asentotietoa tullaan tarvitsemaan myöhemmässä vaiheessa, kun itse induktiosilmukan magneettikentän mittalaitteesta kehitetään 3-akselinen. Tällöin kentänvoimakkuuden mittaustuloksesta voidaan eliminoida mittalaitteen asentoriippuvuus sekä mitata magneettikenttää kolmeulotteisesti. Asentoriippuvuuden poistamiseen tarvitaan siis tieto myös mittalaitteen asennosta.

5 YHTEENVETO

Opinnäytetyön kolmannen osan tavoitteena oli tarkastella InvenSense MPU-9255 -liikeanturimoduulia ja selvittää, kuinka sitä voitaisiin hyödyntää opinnäytetyön toisessa osassa käsitellyssä sisäpaikannusjärjestelmässä. Liikeanturimoduulia testattiin Arduino-kehitysalustan avulla ja sen antamia mittaustuloksia tarkasteltiin tarkemmin kiihtyvyyssanturin ja gyroskoopin osalta.

Liikeanturia on mahdollista hyödyntää usealla tavalla radiopaikannusjärjestelmässä. Liikeanturia voidaan käyttää liikkeentunnistimena niin mittalaitteessa olevassa lokaattorissa kuin paikannusankkureissakin. Lokaattorissa liikkeentunnistuksen avulla voidaan säätää paikannuksen keskiarvoistusta liikkeen mukaan ja näin lisätä sijainnin tarkkuutta mittalaitteen ollessa paikallaan. Ankkureissa puolestaan liikkeentunnistuksella voidaan automatisoida ankkureiden uudelleenkalibroitus, kun ankkureita siirretään. Paikannusankkureihin moduuli on hyvin käyttökelpoinen sen liikkeentunnistustilan matalan virrankulutuksen vuoksi, koska paikannusankkureiden virtalähteinä käytetään USB power bank -akkuja.

Liikeanturia voidaan käyttää myös inertiaipaikantimena. Inertiaipaikannuksella voidaan avustaa nykyistä radiopaikannusta ja lisätä sen tarkkuutta ongelmatilanteissa, kuten paljon esteitä sisältävissä tiloissa, joissa syntyy helposti katvealueita. Lisäksi liikeanturia voidaan käyttää myös itsenäisenä inertiaipaikantimena hyvin pienissä mittaushetkeissä tai kohteissa, joihin radiopaikannusta ei voida pystyttää.

MPU-9255-liikeanturimoduulin ominaisuuksien ja monipuolisten konfigurointimahdollisuuksien perusteella se on käyttökelpoinen ainakin liikkeentunnistukseen sekä todennäköisesti myös asennon määrittämiseen kohtuullisella tarkkuudella. Siitä, millaiseen tarkkuuteen inertiaipaikantimena anturi kykenee, kertovat käytännön testit, joita on mahdollista suorittaa vasta, kun anturin asennon-tunnistus on optimoitu riittävän tarkaksi.

LÄHTEET

1. Saarimaa, Juha 2017. Tuotekehitysinsinööri, Qlu Oy. Haastattelu 14.3.2017.
2. MPU-9255 Product Specification. 2014. Datalehti. InvenSense Inc. Saatavissa: <https://store.invensense.com/datasheets/invensense/PS-MPU-9255.pdf>. Hakupäivä 24.4.2017.
3. Implementing Positioning Algorithms Using Accelerometers. 2007. Sovellusohje. NXP Semiconductors. Saatavissa: <http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/application-notes/AN3397.pdf>. Hakupäivä 25.4.2017.
4. Woodman, Oliver J. 2007. An introduction to inertial navigation. Technical Report number 696. Cambridge: University of Cambridge, Computer Laboratory. Saatavissa: <https://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-696.pdf>. Hakupäivä 25.4.2017.
5. Ansell, Debra 2013. Gyroscopes and Accelerometers on a Chip. Geek Mom Projects. Saatavissa: <http://www.geekmomprojects.com/gyroscopes-and-accelerometers-on-a-chip>. Hakupäivä 27.4.2017.
6. Townsend, Kevin 2016. Sensor Fusion Algorithms. Adafruit. Saatavissa: <https://learn.adafruit.com/ahrs-for-adafruits-9-dof-10-dof-breakout/sensor-fusion-algorithms>. Hakupäivä 27.4.2017.